

AI を活用した道路橋メンテナンスの効率化 に関する共同研究報告書(II-2)

ーレーダを用いた床版上面の劣化調査，国道 210 号山ノ釣橋ー

令和 4 年 3 月

AI を活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究
点検 AI（床版の土砂化等）開発グループ

Copyright © (2022) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、国立研究開発法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

AI を活用した道路橋メンテナンスの効率化 に関する共同研究報告書(II-2)

ーレーダを用いた床版上面の劣化調査，国道 210 号山ノ釣橋ー

AI を活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究
点検 AI（床版の土砂化等）開発グループ

要旨

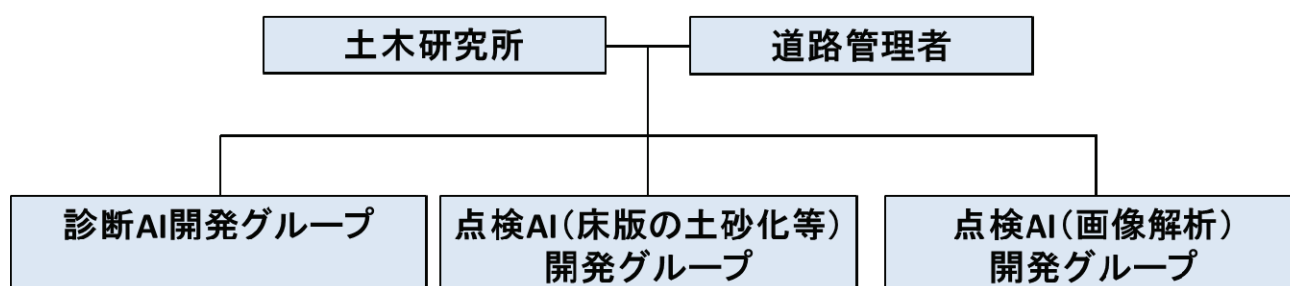
「AI を活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究」（平成 30～令和 3 年度）の点検 AI（床版の土砂化等）開発グループでは，舗装下の水分の早期発見に向けた電磁波レーダ等の適用方法を確立するため，実橋における調査を実施している．その一環として，国道 210 号山ノ釣橋の補修に際して，橋面舗装の除去前に舗装路面上から，車載式，カート式及びハンディ式の各種機器を用いて電磁波レーダによる探査を行い，データを取得した．また，舗装除去前の舗装路面の状況と舗装除去前後の鉄筋コンクリート床版の状況について現地調査を行った．本報告では，対象橋梁の既存資料の調査に基づく損傷経緯の概要及び現地調査の結果をとりまとめた．

キーワード：RC 床版，橋面舗装，土砂化，水分検知，電磁波レーダ，（コンクリートの）含水率，補修

AI を活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究 平成 30～令和 3 年度

概要

近年，社会インフラの老朽化が問題となる一方で，維持管理コストの増加や橋梁に関する専門知識を持った熟練技術者の減少などの問題が顕在化している．そのため，点検や診断の支援など，橋梁維持管理の信頼性向上を実現する技術開発が必要とされており，その解決策の一つとして AI 技術に着目して，メンテナンスサイクルにおける点検・診断・措置の信頼性向上を目指し，診断 AI 開発グループ，点検 AI（床版の土砂化等）開発グループ，点検 AI（画像解析）開発グループの 3 つのグループに分かれて，それぞれの研究に取り組んだ．茨城県と富山市は，道路管理者として現場のニーズを提供すること及び現地調査等の際のフィールドを提供することを目的に，各グループの研究に協力して頂いた（下図）．



診断 AI 開発グループでは，メンテナンスサイクルをより実効性のあるものとするため，特に技術力を要する診断のレベルを向上させることを目的として，熟練診断技術者の診断における知識や思考方法を基にした AI を活用した診断支援システム（診断支援 AI システム Ver.1.0）を開発した．

点検 AI（床版の土砂化等）開発グループでは，目視点検では損傷が進行するまで発見が難しい「床版の土砂化」を対象に，各種非破壊検査技術を用いた舗装下の滞水検知の適用性の確認を行った．特に，電磁波レーダを用いた手法で滞水の有無を判断可能であることを確認した．また，AI による機械学習を用いて，電磁波レーダの計測結果から床版上面の滞水を自動推定する学習モデルを構築した．

点検 AI（画像解析）開発グループでは，診断で必要となる情報を点検で効率的に取得するために，UAV（Unmanned Aerial Vehicle）等の点検ロボットによる点検支援技術，取得した橋梁の変状情報などの点検記録を画像解析により効率的に整理することができる点検 AI（画像解析）及び点検データの格納手法を開発した．

AI を活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究 平成 30～令和 3 年度

参加者一覧

国立研究開発法人土木研究所 a, b, c

アジア航測株式会社 a, b, c

アジア航測株式会社・株式会社イクシス^c・富士電機株式会社 b, c

茨城県^b

株式会社エイト日本技術開発 a, c

一般財団法人橋梁調査会 a, c

グローバルウォーカーズ株式会社^c

首都高技術株式会社^c

一般財団法人首都高速道路技術センター a, c

大日本コンサルタント株式会社 a, b, c

株式会社デンソー^c・株式会社岩崎^c

富山市^b

ニチレキ株式会社^b

株式会社日本海コンサルタント a, c

日本工営株式会社 a, c

日本無線株式会社^b

株式会社ニュージェック a, c

パシフィックコンサルタンツ株式会社 a, c

株式会社日立製作所 a, c

株式会社福山コンサルタント a, c

株式会社復建技術コンサルタント^b

富士通株式会社^a

株式会社まざらん^a

三菱電機株式会社 a, c

八千代エンジニアリング株式会社 a, c

国立研究開発法人理化学研究所^c

注) a～c は、次のとおり、所属する開発グループを示す。

a 診断 AI 開発グループ, b 点検 AI (床版の土砂化等) 開発グループ, c 点検 AI (画像解析) 開発グループ

参加者名簿

国立研究開発法人土木研究所	構造物メンテナンス研究センター	西川 和廣	H30.9～
	〃	金澤 文彦	H30.9～
	構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ	星隈 順一	R3.7～
	〃	桐山 孝晴	H30.9～
	〃	石田 雅博	H30.9～
	〃	大住 道生	H30.9～
	〃	澤田 守	H30.9～
	〃	上仙 靖	H30.9～
	〃	田中 良樹	H30.9～
	〃	大島 義信	H30.9～R2.3
	〃	廣江 亜紀子	H30.9～R2.3
	〃	森本 智弘	H30.9～H31.3
	〃	松本 直士	H30.9～R2.3
	〃	遠藤 正史	H30.9～R2.3
	〃	野田 翼	H30.9～R2.5
	〃	塚崎 翔太	H31.4～R3.3
	〃	余野 智哉	H31.4～R2.6
	〃	二宮 智大	H31.4～R2.7
	〃	増田 隆宏	H31.4～R2.7
	〃	中浦 慎之介	H31.4～R3.4
	〃	堀内 智司	H31.4～
	〃	坂本 佳也	H31.4～
	〃	吉田 英二	H31.4～
	〃	江口 康平	H31.4～
	〃	小野 健太	H31.4～
	〃	大西 孝典	H31.7～R3.9
	〃	藤木 裕二	R2.4～
	〃	夏堀 格	R2.4～
	〃	岩谷 祐太	R2.7～
	〃	菅原 達也	R2.7～
	〃	行藤 晋也	R2.8～
	〃	竹内 彩	R3.4～
	〃	佐藤 純弥	R3.4～
	〃	大西 達也	R3.10～
	技術推進本部先端技術チーム	新田 恭士	H30.9～R2.3
	〃	森川 博邦	R2.4～
	〃	田中 洋一	H30.9～H31.3
	〃	服部 達也	H31.4～R3.3
	〃	茂木 正晴	R3.4～
	〃	下川 光治	H30.10～R3.3
	〃	榎本 真美	H30.10～R3.3
	〃	二宮 建	H31.4～
	先端材料資源研究センター材料資源研究グループ	古賀 裕久	H30.9～
	〃	中村 英佑	H30.9～H31.6
	〃	櫻庭 浩樹	H30.9～
	〃	加藤 祐哉	H30.9～H31.6
	〃	小沢 拓弥	R2.4～
	〃	小田部 貴憲	H31.4～R3.3
	〃	角田 貴也	R3.7～
アジア航測株式会社	地質・地盤研究グループ	尾西 恭亮	H30.9～
	社会インフラマネジメント事業部	山田 晴利	H30.9～
	社会インフラマネジメント事業部事業推進室	長尾 孝幸	H30.9～
	社会インフラマネジメント事業部社会インフラ技術部社会インフラ技術二課	藤ヶ崎 聡	H30.9～
	〃	高 恒	H30.12～

アジア航測株式会社	社会インフラマネジメント事業部 PPP/PFI 推進室	高野 裕司	H30.9～
	社会インフラマネジメント事業部東北インフラ技術部	青柳 健二	H30.9～
	社会インフラマネジメント事業部中部インフラ技術部	森 淳二郎	H30.12～
	社会インフラマネジメント事業部中部インフラ技術部社会インフラ技術一課	中川 善士郎	H30.12～
	社会基盤システム開発センター	水上 幸治	R2.4～
	社会基盤システム開発センター先端技術研究所計測技術研究所	下川 光治	R3.4～
	事業統括部事業戦略部道路プロジェクト	松井 晋	H30.9～
	事業統括部事業戦略部技術戦略室	中澤 明寛	H30.9～
	〃	佐野 実可子	H30.9～
株式会社イクシス	Technology Div. AI & DataService Team	山崎 一也	H30.9～
	代表取締役	山崎 文敬	H30.9～
	Technology Div. R&D Team	中山 鍊	H30.9～
	Technology Div. Product Team	阿部 翔太朗	H30.9～
	Technology Div. R&D Team	野田 道広	H30.9～R3.8
	Technology Div. AI & DataService Team	乾 文雄	H30.9～R2.8
	〃	友正 常雄	H30.9～R2.8
	〃	菅野 廣一郎	H30.9～R3.8
	営業本部営業統括室セールスプロモーション部	笛木 豊	H30.9～
	〃	大賀 英治	H30.9～
	技術開発本部先端技術研究所エネルギー技術研究センターセンシング技術研究部	矢尾 博信	H31.4～
富士電機株式会社	〃	工藤 高裕	H30.9～
	〃	仲村 慎吾	H31.4～
	技術開発本部デジタルイノベーション研究所 AI ソリューションセンターAI 研究部	浅野 貴正	H30.9～
	〃	竹内 豊	H30.9～
	技術開発本部先端技術研究所エネルギー技術研究センター電気エネルギー技術研究部	土井 達也	H31.4～R2.3
茨城県	土木部道路維持課	石川 昭	H30.9～H31.3
	〃	長山 公信	H31.4～R2.3
	〃	柏崎 元治	R2.4～
	〃	大塚 将司	R3.4～
	〃	坂本 裕司	H30.9～H31.3
	〃	大和田 康文	H30.9～H31.3
	〃	笠森 裕史	H31.4～R3.3
	〃	深谷 健	R31.4～R2.3
	〃	鴨志田 龍	R2.4～
	〃	美藤 友郎	H30.9～
	〃	松本 直樹	H30.9～
株式会社エイト日本技術開発	〃	松村 翔	H30.9～
	インフラ保全事業部	則竹 義辰	H30.9～
	〃	小野 裕一	R2.8～
	インフラ保全事業部 中国支社	菖蒲迫 正之	H30.9～
	〃	高木 正行	H30.9～
一般財団法人橋梁調査会	調査部	山本 和利	H30.9～
	企画部	平安山 良和	H30.9～R2.3
	〃	石井 豊	H30.9～
グローバルウォーカーズ株式会社 首都高技術株式会社	取締役 CTO	樋口 未来	H30.9～
	インフラデジタル部インフラパトロール課	紺野 康二	H30.9～
	技術開発室	永田 佳文	H30.9～R3.2
	構造管理部東京東管理課	布施 光弘	H30.9～
	首都高速道路(株)技術部 DX 推進課	神田 信也	H30.9～
	インフラデジタル部インフラパトロール課	高野 淳	R1.9～
	構造管理部東京東管理課	遠藤 重紀	R1.4～
	〃	白石 有佳	R2.4～
	〃	新村 祐一	R2.4～
	〃	富田 大樹	R2.4～
	構造管理部神奈川管理課	金子 英樹	R2.4～

一般財団法人首都高速道路技術センター	審議役	八崎 弘昌	H30.9～
	〃	眞仁田 裕	H30.9～
	〃	田嶋 仁志	H30.9～R2.6
	〃	御嶽 譲	R2.7～
	構造技術部コンクリート構造技術課	佐藤 祐輔	H30.9～
	〃	山田 将憲	H30.9～
	情報技術部土木情報技術課	繪嶋 武史	H30.9～
	構造技術研究所第一構造研究開発室	青木 聡	H30.9～
	構造技術研究所第二構造研究開発室	張 広鋒	H30.9～
	デジタル・イノベーション研究所第一 DI 研究開発室	小原 誠	H30.9～
	デジタル・イノベーション研究所第二 DI 研究開発室	日ヶ丸 幸俊	H30.9～R3.9
大日本コンサルタント株式会社	インフラ技術研究所	平山 博	H30.9～
	インフラ技術研究所技術開発部	横山 広	H30.9～
	インフラ技術研究所技術開発部保全エンジニアリング研究室	牧 祐之	H30.9～
	〃	小林 大	H30.9～
	インフラ技術研究所技術開発部 ICT ソリューション室	龍田 斉	H30.9～
株式会社デンソー	まちづくりシステム開発部 UAV ソリューション事業推進室	河内山 聡	H30.9～R3.3
	〃	加藤 直也	H30.9～
	〃	山崎 浩二	H30.9～R3.3
	〃	吉川 寛	R2.4～
	〃	光田 徹治	R2.4～
	〃	大杉 拓也	R3.9 ～
株式会社岩崎	企画開発部	後藤 紫郁	H30.9～
	〃	真柄 毅	H30.9～H31.1
	〃	山本 紀彦	H30.9～
	〃	村瀬 翔吾	H30.9～H31.1
	〃	河井 大地	H30.9～
富山市	政策参与	植野 芳彦	H30.9～
	建設部道路保全対策課	杉谷 真司	H30.9～R3.3
	〃	宇津 徳浩	H30.9～R3.3
	〃	黒崎 智治	R2.4～
	〃	酒井 陽介	R3.4～
	〃	藤田 博樹	R3.4～
ニチレキ株式会社	道路エンジニアリング部調査課	那珂 通大	H30.9～
	中部支店技術課	永塚 竜也	H30.9～R1.9
	道路エンジニアリング部調査課	佐藤 和久	H30.9～
株式会社日本海コンサルタント	常務取締役	喜多 敏春	H30.9～
	道路事業本部 兼 AI技術室	安藤 正幸	H30.9～
	技術事業本部 保全技術部	浦田 孔二	H30.9～
	社会事業本部 計画研究室 兼 AI技術室	塩土 圭介	H30.9～
	技術事業本部 プロジェクト 兼 AI技術室	多田 徳夫	H30.9～
	社会事業本部 計画研究室 兼 AI技術室	眞島 俊光	H30.9～R3.3
	道路事業本部 道路交通部 兼 AI技術室	形屋 陽一郎	H30.9～
	技術事業本部 構造設計部 兼 AI技術室	末松 雅隆	H30.9～R3.3
	〃	町口 敦志	H30.9～
	技術事業本部 プロジェクト 兼 AI技術室	中谷 明弘	H30.9～
日本工営株式会社	鉄道事業部	藤原 鉄朗	H30.9～R3.3
	道路事業部道路インフラマネジメント部	松山 公年	H30.9～R3.3
	〃	新聞 友祐	H30.9～R2.3
	中央研究所事業創生センター	中津井 邦喜	H30.9～R3.3
	中央研究所先端研究センター	中野 雅章	H30.9～R1.12
	〃	古木 宏和	R2.1～R3.3
	札幌支店技術第一部	秋山 成央	H30.9～R3.3
	社会システム事業部統合情報技術部	沼田 祐助	R1.4～R3.3
	道路事業部道路インフラマネジメント部	渡邊 大智	R2.4～R3.3
日本無線株式会社	ソリューション事業部事業企画開発部	南方 秀之	H30.9～
	交通インフラ技術部道路情報システムグループ	土屋 功	R2.4～
	〃	増田 亮	H30.9～
	技術開発本部研究開発部新領域開発グループ	島田 尚	H30.9～
	〃	大西 喬之	H31.4～

日本無線株式会社 株式会社ニュージェック	技術開発本部研究開発部新領域開発グループ	轟 勇人	R2.4～
	国内技術本部交通・都市部門 道路グループ	白 星保	H30.10～
パシフィックコンサルタンツ株式会社	国内技術本部交通・都市部門 道路グループ 橋梁チーム	入倉 雅人	H30.10～
	〃	橋本 欣也	H30.10～
	交通基盤事業本部インフラマネジメント部橋梁保全室	中澤 治郎	H30.9～
	交通基盤事業本部	安田 亨	H30.9～
	交通基盤事業本部インフラマネジメント部橋梁保全室	森 康晴	H30.9～
	〃	芳賀 堯	H30.9～
	交通基盤事業本部インフラマネジメント部インフラ経営室	福澤 伸彦	H30.9～
	〃	仁野 元太	H30.9～R2.3
	交通基盤事業本部インフラマネジメント部トンネル室	重田 佳幸	H30.9～
	〃	山本 秀樹	H30.9～
	交通基盤事業本部インフラマネジメント部橋梁保全室	樋口 裕治	H30.9～
	交通基盤事業本部インフラマネジメント部インフラ経営室	田中 伸幸	H30.9～
	DS 事業本部情報事業部	川城 研吾	H30.9～
	〃	榎本 真美	R3.4～
株式会社日立製作所	環境事業部情報システムエンジニアリング部	古山 昇児	H30.9～
	〃	宮崎 剛	H30.9～
	〃	佐藤 啓香	H30.9～
	〃	田中 俊和	R2.4～
	社会イノベーション事業推進本部サステナブルインフラ マネジメント部	柿本 真吾	H30.9～
	〃	増田 真也	H30.9～R2.3
	社会ソリューション第一営業本部 営業第一部	中村 有輝	H30.9～
	インフラマネジメント事業部	宮村 正樹	H30.9～
株式会社福山コンサルタント	〃	青島 亘佐	H30.9～
	〃	徳永 皓平	H30.9～
	株式会社復建技術コンサルタント	唐木 正史	H30.9～
	〃	石川 雄貴	H30.9～
富士通株式会社	〃	塚本 美咲	R3.4～
	社会システム事業本部 防災システム事業部	田嶋 聡司	H30.9～
	〃	早川 誠	R1.7～
	〃	長谷川 英司	R3.1～
	〃	立脇 正敬	R3.1～
	〃	荒川 博史	H30.9～R3.9
	〃	菊地 英幸	H30.9～
	研究本部 先端融合技術研究所	渡部 勇	H30.9～
	デジタルフロント事業本部 デジタルビジネス事業部 ビジ ネストランスフォーメーション推進室	長谷 一也	H30.9～R1.7
	デジタルフロント事業本部 デジタルイノベーター推進統括部	根岸 仁	H30.9～R1.7
株式会社まざらん 三菱電機株式会社	〃	長澤 卓也	H30.9～R1.7
	〃	塚田 真希	H30.9～R2.3
	取締役	西垣 重臣	H30.9～R3.12
	神戸製作所社会システム基盤技術部	中田 雅文	H30.9～
	情報技術総合研究所知能情報処理技術部知能情報応用 技術グループ	松田 幸成	H30.9～R2.3
	先端技術総合研究所機械システム技術部構造強度信頼性 グループ	葉名 紀彦	H30.9～R2.3
	社会環境事業部社会システム第二部	細野 秀人	R2.4～
	神戸製作所社会システム基盤技術部	佐久嶋 拓	R2.4～
	〃	眞鍋 七海	R2.4～
	事業開発本部第三開発室	中島 道浩	H30.9～
株式会社八千代エンジニアリング	事業統括本部国内事業部インフラマネジメント部	野田 一弘	H30.9～
	〃	関口 斉治	H30.9～
	技術創発研究所 AI 解析研究室	安野 貴人	H30.9～
	革新知能統合研究センターインフラロボット管理チーム	岡谷 貴之	H30.9～
	〃	大野 和則	H30.9～
	〃	岡田 佳都	H30.9～
	〃	菅沼 雅徳	H30.9～
	〃		
国立研究開発法人理化学研究所			

注) 期間は本共同研究における担当期間を示す。H: 平成, R: 令和

目 次

AI を活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究

概要

参加者一覧

参加者名簿

1. はじめに	1
2. 対象橋梁と調査範囲	2
2.1 対象橋梁の概要	2
2.2 床版の損傷と補修	8
2.3 床版補修時の状況	15
2.4 調査時の概況	16
3. 調査方法	18
3.1 調査項目	18
3.2 外観観察	20
3.3 電磁波レーダによる調査	21
3.4 含水状態の測定	27
3.5 測定位置の確認方法	28
4. 結果	30
4.1 舗装路面と床版上面の関係	30
4.2 車載式レーダの測定結果	42
4.3 カート式レーダ（高周波型）の測定結果	48
4.4 カート式レーダ（中周波型）の測定結果	55
4.5 ハンディ式レーダの測定結果	70
5. Y 橋床版の劣化過程と原因の推定	75
5.1 各調査結果の平面上の位置出し — 特徴的な箇所の外観とレーダの関係より	75
5.2 床版、舗装の部分補修と滞水、漏水	92
5.3 Y 橋の舗装と床版の損傷状況	99
5.4 Y 橋における舗装と床版の劣化過程の推定	109
5.5 Y 橋における床版上面の補修と再劣化	116
6. まとめ	118
謝辞	119
参考文献	120
本調査の担当一覧	122
付録 A1 A1-P1 間の貫通ひび割れ	123
付録 A2 床版コンクリートのポップアウト	127

1. はじめに

道路橋のコンクリート床版の土砂化は、複数の症状が見られ、原因として路面からの塩水の浸入が疑われるが、劣化機構、損傷過程を含めて不明な点が多い。また、土砂化はアスファルト舗装下の床版上面の損傷であることから、外観での直接的な発見が難しい状況にある。補修後、比較的早期に再劣化する事例が見られることから、調査方法、補修方法の改善が必要である¹⁾。

土木研究所では、「床版防水に配慮した橋面舗装の打換え技術に関する研究」(平成 28 年度～令和元年度)の中で、土砂化したコンクリート床版の損傷状況とその原因の把握のため、実橋調査や撤去された床版の劣化調査等を行った^{2),3)}。また「AI を活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究」(平成 30～令和 3 年度)の点検 AI (床版の土砂化等) 開発グループでは、舗装下の水分の早期発見に向けた電磁波レーダ等の適用方法を確立するため、実橋における調査を実施している^{4),5)}。同グループでは、電磁波レーダの測定データから舗装下、床版上の滞水範囲を効率的に解析するため、AI を活用したアプリを開発中である。

これらの目的のため、令和元年度に、国道 210 号、山ノ釣橋(以下、Y 橋という)において、舗装撤去前の路面状況観察、電磁波レーダによる舗装下の床版上面及び床版中の含水状態や損傷箇所の探査、舗装撤去後の床版上面の損傷状況観察、床版下面の損傷及び漏水状況観察等を、両研究担当が合同で実施した。同橋では、その一部区間でコンクリート床版の補修が行われていたことから、これらの調査を行うことができた。当然ながら、調査は橋の補修工事の工程の中で可能な範囲で行ったことから、得られる情報が限られたが、調査方法も含めて、今後の調査の参考になると考え、報告書にまとめることとした。

本報告では、2 章で Y 橋の概要と点検結果に基づく損傷経緯を示し、3～4 章で現地において実施した各調査の方法と結果を示す。それらの結果を踏まえて、5 章では Y 橋のコンクリート床版の劣化過程とその原因について述べる。

なお、本調査は、国土交通省国土技術研究会の指定課題「道路橋コンクリート床版の土砂化対策に関する調査研究(平成 30 年度～令和元年度)」¹⁾の一環として、国土交通省九州地方整備局の協力を得て実施した。

2. 対象橋梁と調査範囲

2.1 対象橋梁の概要

調査対象とした橋梁は 1974 年竣工の山ノ釣橋（以下、Y 橋という）であり、国道 210 号、大分県日田市の大分市に向かう途中の山間部に位置する。図-2.1.1 に Y 橋の外観を示す。図-2.1.2 に Y 橋の一般図を、図-2.1.3 に断面図をそれぞれ示す。同橋は、橋長 240m、幅員 9.45m（車道幅員 7.0～7.5m）、鋼単純合成鈑桁橋、鋼 2 径間連続非合成箱桁橋、4 連鋼単純合成 H 桁橋で構成される 7 径間の道路橋である。

2010 年における交通量は 7541 台/12h、大型車混入率 14%であった。図-2.1.4 に、本橋における材木を積載した大型車の例を示す。冬季は凍結防止剤が散布されており、散布量は平成 25～29 年度の平均で約 3.6 t/km であった。凍結防止剤には、塩化ナトリウムと塩化カルシウムが概ね 3:2（5 年平均）で使用されていた。なお、国道 210 号と並行して整備されている大分自動車道は 1996 年に全線開通している。



(a) 第1径間 (A1-P1)



(b) 第2,3径間 (P1-P3)



(c) 第2径間



(d) 第7径間 (A2側から撮影)

図-2.1.1 対象橋梁の外観

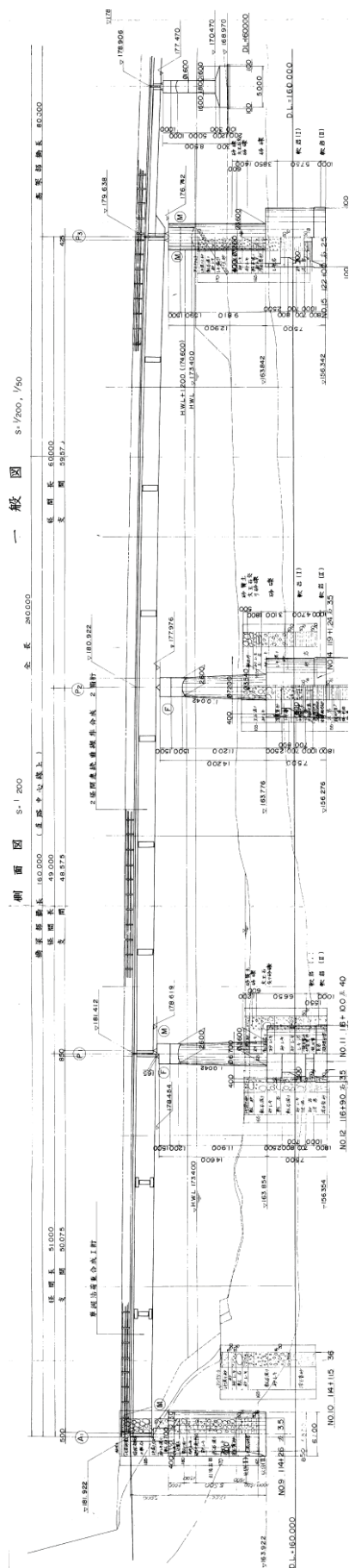


(e) A1-P3 間 (A2 側から撮影, 2019 年調査時)



(f) A1 側から撮影 (2019 年調査時)

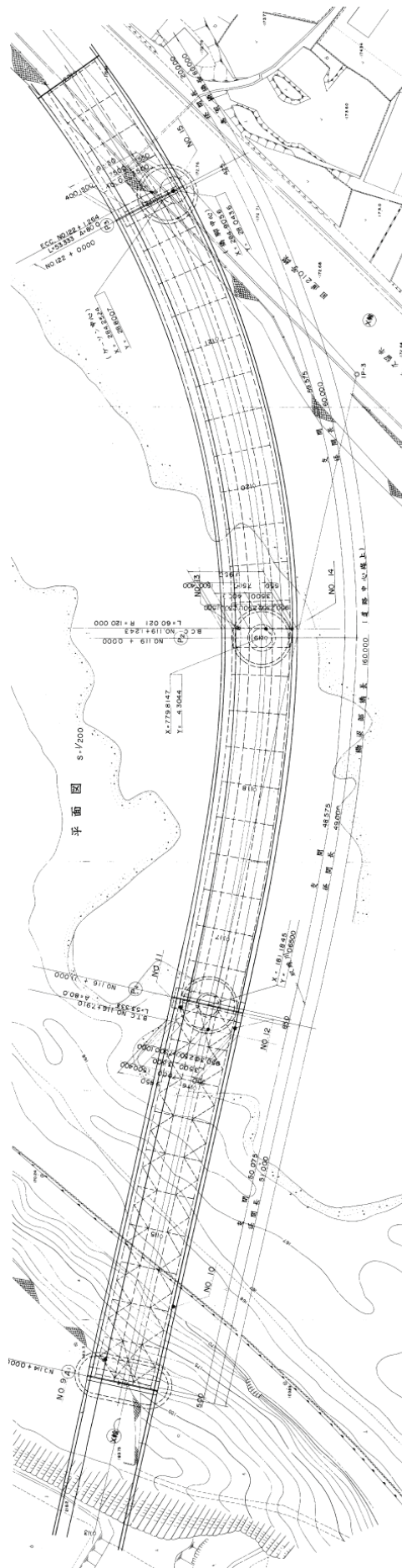
図-2.1.1 対象橋梁の外観 (つづき)



← 日田方面

(a) 側面図

→ 大分方面



(b) 平面図

図-2.1.2 調査対象橋梁の一般図 (調査対象のA1～P3の区間)

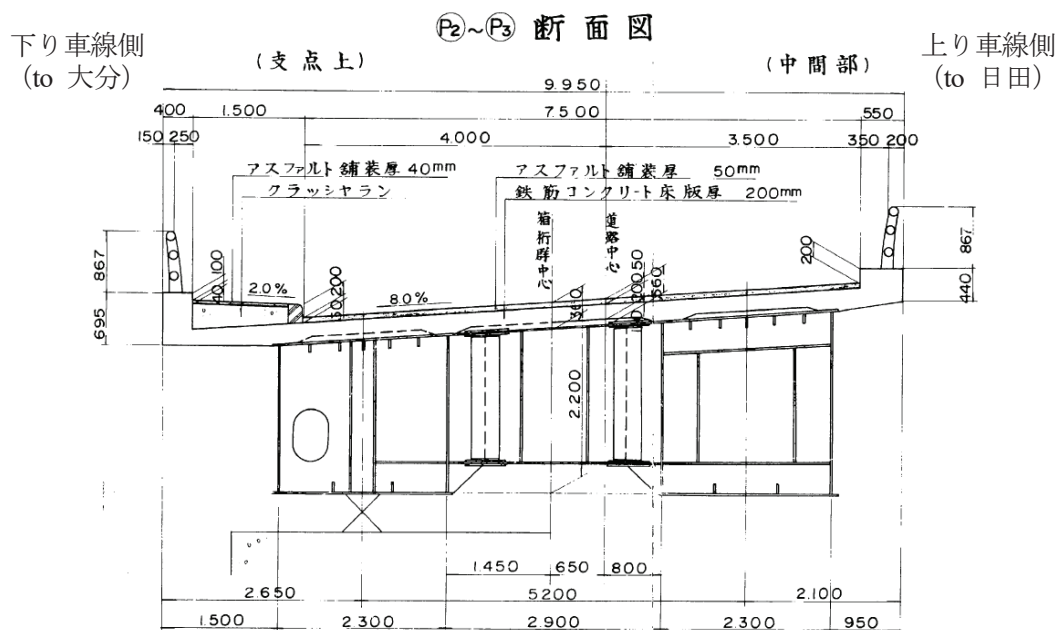
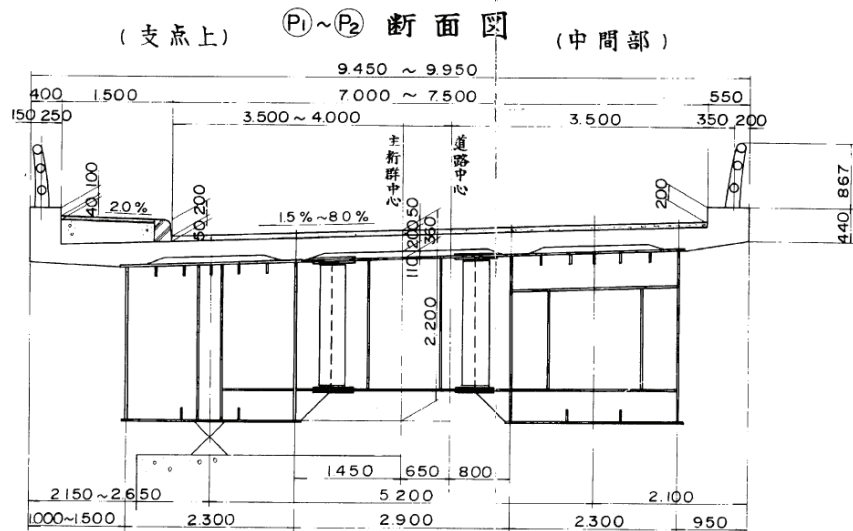
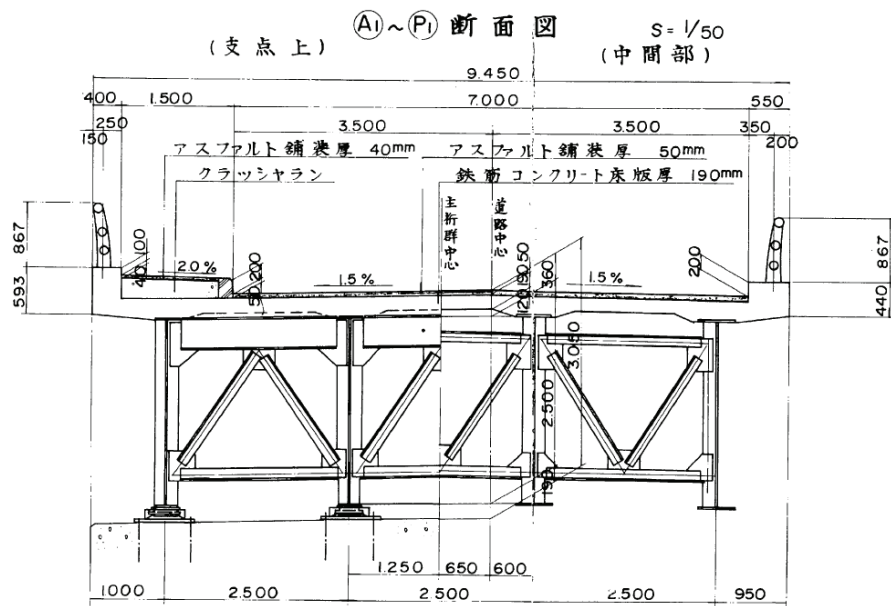


図-2.1.3 断面図 (調査対象の A1~P3 の区間)



図-2.1.4 対象橋梁における大型車両の例（2019 年調査時）

2.2 床版の損傷と補修

図-2.2.1～3 に、Y 橋の 2005 年以降の定期点検の記録より、第 1 径間から第 3 径間における舗装とコンクリート床版下面の経年変化を示す。2005 年 3 月の点検では、床版下面に局所的に漏水が見られたが、床版の損傷は比較的少なかった。舗装には顕著なひび割れが見られたが、舗装と床版の損傷の関連は認められなかった。2009 年 12 月の点検では、床版下面の一部に漏水、遊離石灰、ひび割れが散見されたが、範囲はごく限られ、いずれも対策区分は B とされた。2015 年 3 月の点検では、全径間の至る箇所で、床版下面の漏水、遊離石灰、ひび割れが認められ、対策区分 C2 の構造安全性の観点から速やかに補修する必要がある損傷とされた。なお、2013 年時点の記録では Y 橋に防水層が設置されていなかった。2005 年に舗装の顕著なひび割れが見られたが、2009 年までは床版下面の顕著な変状が見られていなかったようである。このことから、その後の約 5 年間で床版下面の変状が急速に進行したことが分かる。

2014 年の補修設計において、床版下面のひび割れが詳細に調査され、詳細なひび割れ図に、漏水、遊離石灰を伴うひび割れも示されていた。図-2.2.4 に、そのときの A1 から P3 のひび割れ図を示す。また、路面の状況から、床版の土砂化が懸念されていた。その際の床版からコンクリートコアを採取した結果では、コンクリートの床版厚が第 1 径間で 210 mm、第 2,3 径間で 195 mm であり、コンクリートの圧縮強度は第 1 径間で 23 N/mm²、第 2 径間で 22 N/mm²であった（いずれもコア 1 本の結果）。第 2 径間の削孔内面を見ると、床版下面から約 160 mm の位置に水平ひび割れが見られた。

グーグルのストリートビューの情報より、Y 橋の 2013 年 1 月と 2018 年 5 月の路面状況がある程度確認することができる¹⁾⁴⁾。図-2.2.5 に、第 3 径間における路面状況の補修前後の変化を示す。また、図-2.2.6～7 に、補修の約 2 年前、2013 年の路面の劣化状況を示す。2018 年時での路面状況は、2019 年の調査時と概ね同じであったが、2013 年時の路面状況は、舗装のひび割れやポットホール（暫定的に埋められているように見える）が見られ、ひび割れから石灰分や土砂の噴出が見られていたことがわかる。また、この時点では、2015 年の補修前であり、舗装の部分打換え補修は見られない。同様の画像データより、5.2 に示す第 3 径間の床版パネル 3-0203 や 3-0204 付近は、P1-P3 間で舗装路面の損傷が外見上、最も著しい部位であったことが分かった。これらの部位は、その後、2015 年に舗装の部分打換えと床版上面のコンクリートの部分打換えが行われた。



(a) 第1径間



(b) 第2径間



(c) 第3径間

図-2.2.1 2005年定期点検時の状況（左：舗装，右：床版下面）

注）この図では舗装路面の位置と床版下面の位置は一致できていない。



(a) 第1径間



(b) 第2径間



(c) 第3径間

図-2.2.2 2010年定期点検時の状況（左：舗装，右：床版下面） ※一部2009.12に撮影

注）この図では舗装路面の位置と床版下面の位置は一致できていない。



(a) 第1径間



(b) 第2径間



(c) 第3径間

図-2.2.3 2015年定期点検時の状況（左：舗装，右：床版下面）

注）この図では舗装路面の位置と床版下面の位置は一致できていない．

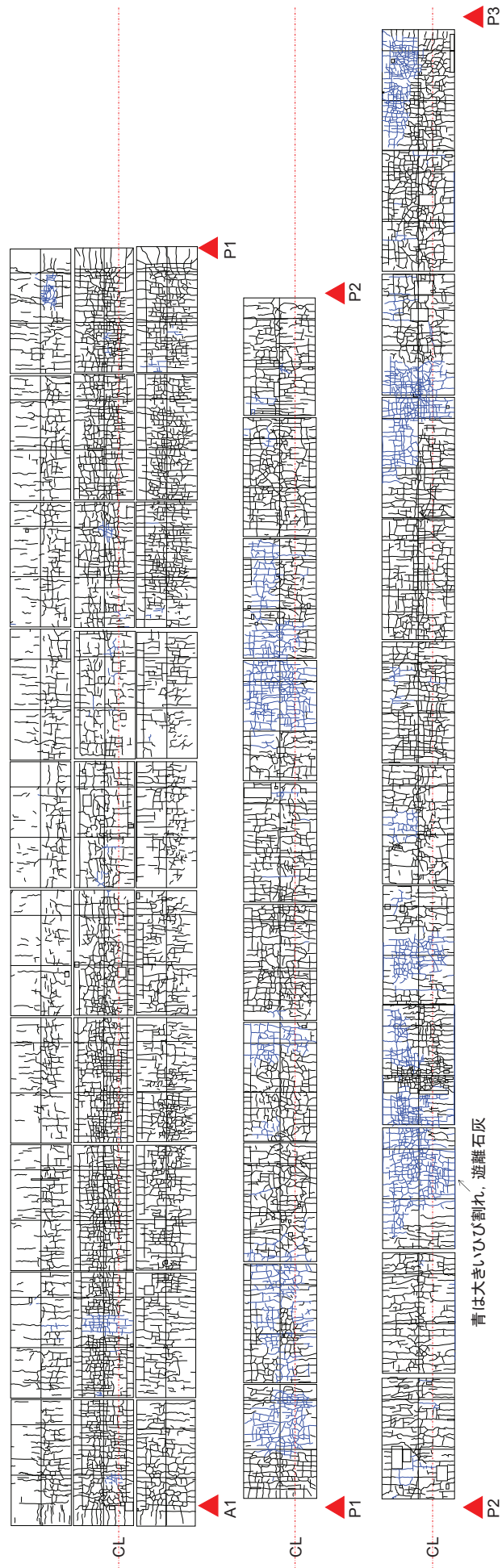


図-2.2.4 2014 年の詳細調査におけるひび割れ図 (調査対象の A1～P3 の区間)



Google 2013.1撮影



Google 2018.5撮影

2013 年 1 月撮影 <https://www.google.co.jp/maps/@33.2619678,131.0105713,21z>

2018 年 5 月撮影 <https://www.google.co.jp/maps/@33.2619629,131.0105634,21z>

注) いずれも Google ストリートビューから引用し、黄色の線を加筆した。

図-2.2.5 第 3 径間の路面状況の変化^{1),2)}



Google 2013.1撮影

撮影日: 1月 2013 © 2021 Google

2013 年 1 月撮影 <https://www.google.co.jp/maps/@33.2621455,131.0106087,21z>

注) Google ストリートビューから引用し、黄色の線を加筆した。

図-2.2.6 床版補修前の路面状況（その 1，床版パネル 3-0203 付近，P2 側から P3 側に向かって撮影。図-2.2.3(c)右側の写真の路面状況）³⁾



Google 2013.1撮影

(a) P3 側から P2 側に向かって撮影¹⁾

2013 年 1 月撮影 <https://www.google.co.jp/maps/@33.2619678,131.0105713,21z>



Google 2013.1撮影

(b) P2 側から P3 側に向かって撮影⁴⁾

2013 年 1 月撮影 <https://www.google.co.jp/maps/@33.2621018,131.0105933,21z>

注) いずれも Google ストリートビューから引用し、黄色の線を加筆した。

図-2.2.7 床版補修前の路面状況（その 2，床版パネル 3-0204 付近）

2.3 床版補修時の状況

図-2.3.1 に、Y 橋の 2014 年における補修時の床版上面の状況を示す。床版上面のコンクリートが著しく劣化していたことがわかる。その後の補修事例でも、類似の症状が見られた。なお、5.3 節では、他の情報と突き合わせて損傷箇所が特定できた事例を示す。



図-2.3.1 2014 年補修時の床版上面の劣化状況（第 3 径間，下り）

注）この図は補修位置を特定できていない。

2.4 調査時の概況

調査の際は、既に Y 橋の床版補修工事が始まっており、第 1 径間から第 3 径間にかけて足場が設置されていた。図-2.4.1 に、その時の外観の状況として、第 1 径間から第 3 径間における舗装とコンクリート床版下面の状況を示す。第 1 径間は、舗装の橋軸直角方向のひび割れが多数見られたが、舗装の部分補修はごく限られていた。一方、第 2, 3 径間は、舗装の部分補修の跡が多数見られるとともに、簡易なパッチングを含めて、舗装の部分補修が繰返し行われていた跡が見られた。



(a) 第1 径間



(b) 第2 径間



(c) 第3 径間

図-2.4.1 2019 年調査時の状況（左：舗装，右：床版下面）

注）この図では舗装路面の位置と床版下面の位置は一致できていない。

3. 調査方法

3.1 調査項目

表-3.1.1 に、Y 橋で行った調査項目の一覧を示す。床版の補修が進められる中で、調査に入ったことから、前掲の図-2.1.1(e)のとおり足場が設置されており、A1-P3 間の 3 径間は床版下面から近接目視することができる状態であった。また、補修に際して、アスファルト舗装を除去する機会に、床版上面の観察も行うことができた。工事は下りを 2019 年 4 月に、上りを 6 月にそれぞれ実施され、それに合わせて調査も同時期に行った。

表-3.1.1 調査項目一覧

項目	概要	使用機器	調査範囲	位置出し	調査日	担当
路面外観	調査直前の舗装路面の外観を写真撮影する	カメラ	主として A1-P3 間 上り, 下り両方	復建技術 C では, A1 からの距離を スケールで出して チョークを入れた 後に撮影 土研は全長にわた って連続撮影	2019.2.27 2019.4.1-3 2019.4.10-12 2019.6.18-19	物探, CAESAR, 復建技術 C
		車載ラインセンサカメラ	全区間 上り, 下り両方	距離計	上り 2019.4.1 下り 2019.4.4	ニチレキ
床版上面外観	舗装除去直後の床版上面の外観を写真撮影する	カメラ 点検ハンマ	A1-P3 間 上り, 下り両方	路面外観と同じ	下り 2019.4.10-12 上り 2019.6.18-19	物探, CAESAR, 復建技術 C
床版下面外観	床版下面の外観を写真撮影する	カメラ	A1-P3 間 箱桁間のみ	床版パネルごとに撮影	2019.4.10-12 2019.6.18-19	CAESAR, 復建技術 C
車載式レーダ	供用時に通常走行下で, 舗装下の床版のレーダ探査を行う	レーダ搭載調査車	全区間 上り, 下り両方	距離計, GNSS	上り 2019.4.1 下り 2019.4.4	ニチレキ
カート式レーダ	片側通行規制下で, 舗装下の床版のレーダ探査を行う	カート式レーダ (中周波)	A1-P3 間 上り, 下り両方	GNSS	2019.4.1-3	物探
		カート式レーダ (高周波)	A1-P3 間 上り, 下り両方	スケール	2019.4.1 2019.4.3	復建技術 C
ハンディ式レーダ	片側通行規制下で, 舗装下の床版のレーダ探査を行う	ハンディ式レーダ	主として P1-P3 間を部分的 上り, 下り両方	スケール	2019.4.2 2019.4.4	復建技術 C
床版下面含水状態	床版下面のコンクリートの含水状態を測定する	高周波電気容量式水分計	A1-P1 間のひび割れ付近 P2-P3 間のパネル 0202 及び 0203	床版下面の写真と個々の測定位置の写真を突き合わせて特定	A1-P1: 2019.4.11 P2-P3: 2019.4.12	CAESAR

3.2 外観観察

アスファルト舗装の路面の観察は、2019年2月の事前調査の時点では供用下であったことから、歩道から目視観察と写真撮影を行った。4月及び6月の舗装除去の直前に、短時間であるが、規制下で路面を観察する機会があった。直接目視による観察のほか、車載式レーダの調査時に、同時に車載のラインセンサカメラで路面状況を撮影した。

舗装下の床版上面コンクリートの観察は、片側通行規制の下でアスファルト舗装が除去された後、床版上面の補修工事が行われるまでの間に行った。

限られた時間の中で、路面の調査を優先したことから、床版下面は目視観察と写真撮影を行う程度とした。なお、2014年の同橋の補修設計の資料に、箱桁間の床版下面のひび割れ図と遊離石灰、漏水の範囲が示されているので、調査時期の違いがあることを踏まえた上でそれらの情報を参照した（前掲図-2.2.4）。

3.3 電磁波レーダによる調査

電磁波レーダは、空洞、埋設管、鉄筋等の調査に多用されており、国内普及台数が多く、非破壊で舗装下の床版の状態を路面より調査できる測定装置のひとつとしても有力な調査手法である。近年、橋梁床版調査にも頻繁に用いられるようになってきた。橋梁の路面下はアスファルト舗装、コンクリート、鉄筋の3種類の電磁波特性の異なる材料から構成され、健全な場合は、それらは密着している。路面に向かって発信した電磁波は、空気とアスファルト舗装の境界、アスファルト舗装とコンクリートの境界、コンクリートと鉄筋の境界において反射し、電磁波レーダに反射信号として受信される。この反射信号の特徴に基づき RC 床版上面の状態を分類できると考えられる。これと同様に、土砂化域等を検知することができるが、正常な箇所を見誤るなど検知率が安定しないことが課題となっている。

電磁波レーダは、様々な仕様設計の装置が実用化されており、特性を理解した利用が求められる。

様々な種類が存在する電磁波レーダについて、ここではまず(A)走査方式、(B)アンテナ数、(C)中心周波数の3点に絞って整理を行う。

(A)走査方式は、交通規制を行わなくても調査可能な装置（＝車載式、車両牽引式）と交通規制が必要な装置（＝手押し式、ハンディ式）の2種類に大きく分類される。基本的な調査は交通規制の必要のない車載式または車両牽引式で実施する。ただし、交通規制が必要な手押し式やハンディ式の方がより高分解能で橋梁端部まで調査が行えるため、詳細調査が必要な際に利用する。

(B)アンテナ数は、一組の送受信アンテナが搭載された装置（＝シングルチャンネル）と多数の送受信アンテナが搭載された装置（＝マルチチャンネル）の2種類に大きく分類される。橋梁床版の全域を調査するためには、マルチチャンネルレーダの利用が適しているが、カート式やハンディ式のマルチチャンネルレーダ、及び、後述する高周波アンテナのマルチチャンネルレーダの普及台数は少ないため、シングルチャンネルレーダの使用も検討する必要がある。

(C)中心周波数は、調査に用いる主な周波数帯を指す。橋梁床版用には高分解能な 1.5GHz (G : ギガ (10⁹)) より高い高周波レーダが適している。しかし、車載式や車両牽引式、及びマルチチャンネルレーダの高周波レーダの普及台数は十分ではないため、中周波帯のレーダの使用も検討する必要がある。

以上より、国内における普及状況も鑑み、Y 橋の調査では、車載式（マルチチャンネル、中～高周波）、カート式（マルチチャンネル、高周波と中周波）、ハンディ式（シングルチャンネル、高周波）の4種類の装置を適用した。

(1) 車載式

車載式及び車両牽引式は、交通規制をかけずに調査が可能である。しかし、アンテナ面と路面との間の空間で多重反射が生じ、記録品質はやや低下する。車載式は、短時間強い電磁波を射出するパルス式と、一定周波数の電磁波を連続的に送信するステップ周波数式に大別される。両者は、結果として得られる記録断面には大きな相違はないが、詳細な分析を行う際に注意が必要となる場合がある。一方、車載式として普及している装置の周波数特性等に大きな相違はなく、床版調査に対する特性に大きな差はない。

調査に用いた装置は、3D-RADAR 社の DX1821 である。送受信方式はステップ周波数式で、送受信帯域：

200～3000MHz である。現在、国内において普及運用台数が多い車載式装置のひとつである。概要及び性能を表-3.3.1 に示す。

電磁波レーダの有効幅員幅は 1.5m であるため、橋梁の幅員に合わせて複数回走行して計測する。山ノ釣橋は、1 車線あたり 3 回走行してデータを取得した。取得したデータは、ラインセンサカメラによる路面画

表-3.3.1 車載式電磁波レーダ機材諸元

項 目	性能	機 材 外 形
装 置 名	ニチレキ社製 『床版キャッチャー』	
電磁波レーダ	3D-Radar 社製 『DX1821』	
測定可能走行速度	80 km/h	
位置測定	車速信号, ラインセンサカメラ	
放射方法	ステップ周波数式	
周 波 数	200MHz～3GHz	
アンテナ幅	1.8 m	
チャンネル数	21	

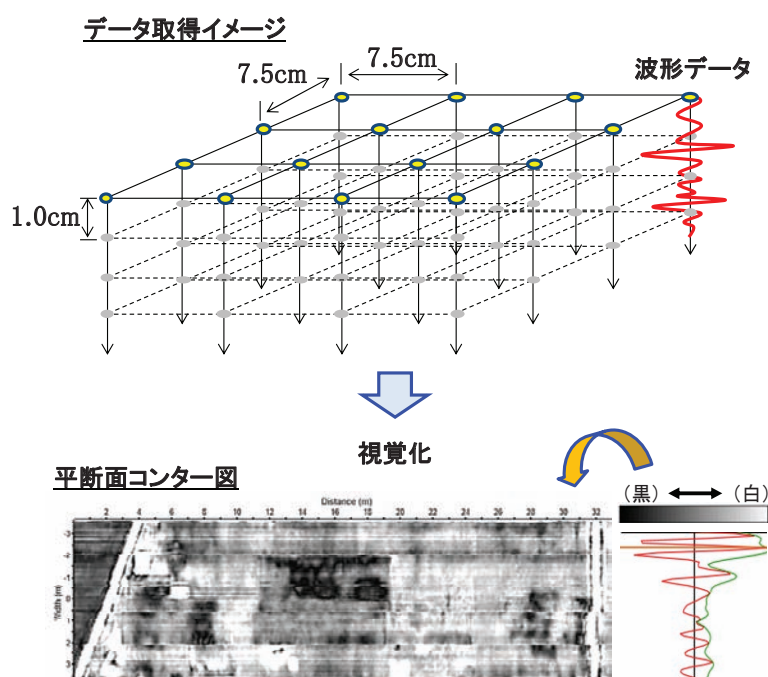


図-3.3.1 データイメージ

像と電磁波レーダによる反射信号の2つになる。反射信号は、橋軸及び橋軸直角方向に7.5cm間隔、深さ1.0cm間隔で取得され、その強度の大小に応じて256階調のモノクロのコンター図（平面図・縦断図・横断図）に変換され視覚化される（図-3.3.1）。複数に分割して計測した路面画像及び反射信号のデータは合成されて、1つの橋梁のデータになる。合成後の路面画像及び電磁波データ（平面図）は4章に示す。

(2) カート式

カート式電磁波レーダは、人力で牽引するマルチチャンネルのレーダであり、車載式電磁波レーダと同等の大きさの装置である。従来、このレーダは、土工部や堤防などの内部の空洞等を調査するものとして利用されてきたが、近年は高周波数の製品も開発されるようになり、その活用のフィールドは拡大している。カート式は車両牽引型に比べて低速であるが、調査箇所が比較的正確であり、アンテナを路面に可能な限り近づけられることから記録品質が高く、調査対象の内部状況を詳細に分析するのに適している。また、手押しの道具であるため現場での取り回しの良さから、橋梁歩道部などの車両の進入ができない場所や、幅員の狭隘な箇所でのレーダ計測を可能にする。但し、本研究のように車線上での調査を実施する場合は、車線規制や通行止めが必要となるため状況に応じた判断が必要となる。

カート式は、一人の作業者が手で押すことにより、歩行速度で記録の取得が行える。普及品は送信アンテナ1個、受信アンテナ1個のシングルチャンネル方式が多いが、橋梁床版の全域を調査するには、多数のアンテナを搭載したマルチチャンネル方式が必要となる。マルチチャンネル方式の手押し式電磁波レーダは、国内の普及台数は多くはないが、十分に利用可能な状況である。ただし、各社の保有製品の特徴の相違が比較的大きいため、調査に用いられた電磁波レーダの利点を活かした解析や記録の評価を行うことが求められる。

a) 高周波型

調査に用いた高周波型カート式の装置は、IDS社のRIS Hi-BrigHTである。概要及び性能を表-3.3.2に示す。また、カート式高周波電磁波レーダによる調査範囲を図-3.3.2と図-3.3.3に示す。

表-3.3.2 カート式高周波電磁波レーダ機材諸元

項 目	性能 (カタログ値)	機 材 外 形
機 材 名	IDS GeoRader 社製 『RIS Hi-BrigHT』	
計 測 幅	91×42 cm	
チャンネル数	計 16 個 進行方向 8 個 横断方向 8 個	
放射方法	パルス式	
中心周波数	2.0 GHz	
アンテナ間隔	10 cm	

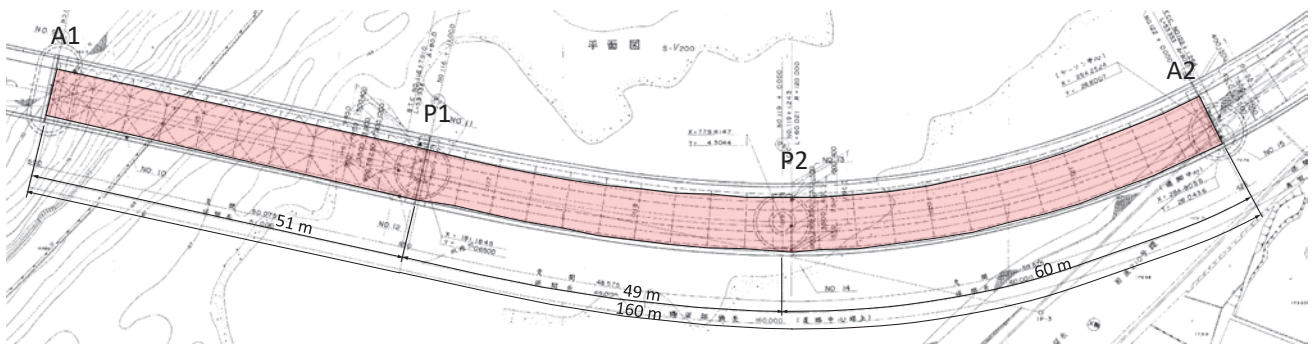


図-3.3.2 調査範囲平面図

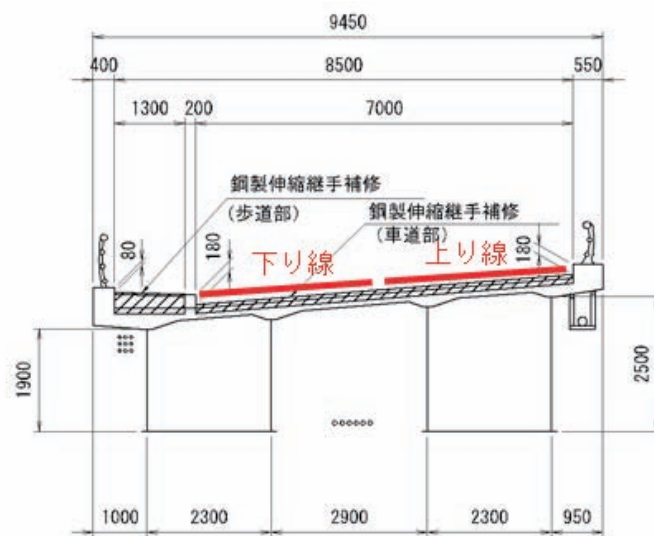


図-3.3.3 調査範囲断面図

b) 中周波型

調査に用いた中周波型カート式の装置は、EarthRadar 社の Latro である。概要及び性能を表-3.3.3 に示す。送信方式のコード式は、記録の特性はステップ周波数式に近い方式である。中周波側のカート式電磁波レーダによる調査範囲は P1-P3 間とした（後掲の図-4.4.2）。ただし、調査時に、補修工事の機材が P1 付近に配置されていたことから、その範囲は測定していない。

表-3.3.3 カート式中周波電磁波レーダ機材諸元

項 目	性能	機 材 外 形
機 材 名	EarthRadar 社製 『Latro』	
計 測 幅	約 120cm	
アンテナ数	送信 8 個 受信 9 個	
放射方法	コード式	
中心周波数	約 800MHz	
アンテナ間隔	6.5 cm	
測位方式	車軸エンコーダー， RTK-GNSS	

(3) ハンディ式

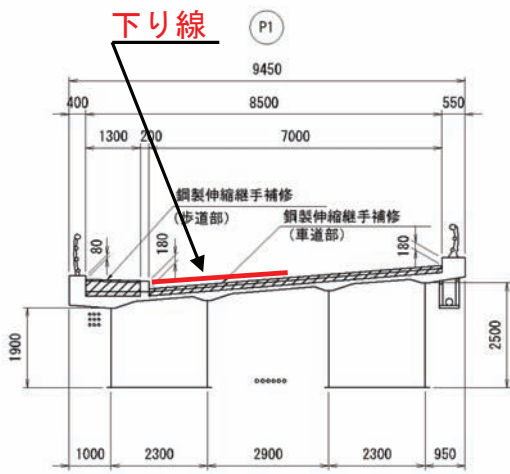
ハンディ式は、片手で走査可能な大きさで、シングルチャンネルの高周波レーダに限定される。コンクリート構造物内部の鉄筋の位置の調査に多用されている。床版上面や鉄筋の反射波を明瞭に分類して調査が行える。調査に用いたハンディ式の装置は、GSSI 社の StructureScan である。概要及び性能を表-3.3.4 に示す。図-3.3.4 に示すとおり、カート式レーダの探査範囲で舗装の状況より損傷が含まれると推定できる 2m×2m～3.5m 程度の範囲のデータを測線間隔 100mm ピッチ、走査方向に 1.25mm ピッチで探査した。

表-3.3.4 ハンディ式電磁波レーダ機材諸元

項 目	性能 (カタログ値)	機 材 外 形
機 材 名	GSSI 社製 『SIR-EZ HR』	
チャンネル数	シングル	
放射方法	パルス式	
中心周波数	2.6 GHz	



(a) 調査位置図 (平面図)



(b) 調査位置図 (断面図)



(c) レーダ探査状況

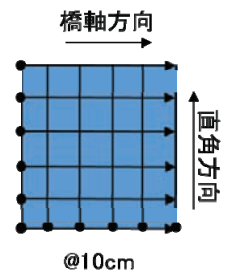


図-3.3.4 調査位置及びレーダ探査状況

3.4 含水状態の測定

床版下面の含水状態を把握するため、ごく限られた範囲であるが、水分計（K 社 HI-500）を用いて、含水状態を表す D 値を測定した。測定の設定は、D モード、深さ 40mm 以上、温度補正 AUTO とした。D 値は、値が大きいほどコンクリート中の含水率が高いことを表す指標である。D 値の測定結果の目安は、既往の調査結果^{1),2)}を踏まえて、本文では図-3.4.1 のとおり想定している。

A1-P1 間は、床版に貫通ひび割れが見られたことから、その周辺の D 値を測定した。また、P2-P3 間の床版パネル 0202 及び同 0203 は、下面の外観が極端に異なっていたことから、それぞれの D 値を測定した。



D 値による含水状態の目安

D 値	含水状態の目安
-399	正常または接触不良
400-599	正常
600-799	多い
800-	著しく多い

図-3.4.1 床版下面の含水状態の測定状況と含水状態の目安

3.5 測定位置の確認方法

Y 橋は比較的大きい橋であり，工事中の限られた時間の中で，すべての調査項目に対して，それぞれ詳細に位置出しすることは必ずしも容易でない．前掲の表-3.1.1 に，各調査項目の位置出しの方法について示した．位置出しは，次の複数の方法によった．

- a) GNSS による
- b) A1 からの距離をスケールによって測定する
- c) 機器搭載の距離計（エンコーダ）による
- d) 写真，ビデオ画像による

d)については，以下の画像上の目印を，上記(a)～(c)と関連付けて，位置出しする．

- ・伸縮装置，照明柱，排水口等の位置
- ・舗装路面や地覆のひび割れ，汚れ，補修跡
- ・床版上面の補修跡
- ・センターライン等の路面の境界線
- ・床版下面のひび割れ，汚れ
- ・垂直補剛材間隔

写真やビデオの画像には，図-3.5.1 のように調査区間内の位置を把握できるように連続して撮影したものを含む．なお，Y 橋は，調査期間中にも舗装の補修が追加されていること，また舗装除去後に床版下面の漏水状況が変化していることがあるので，位置出しや考察に注意を要する．

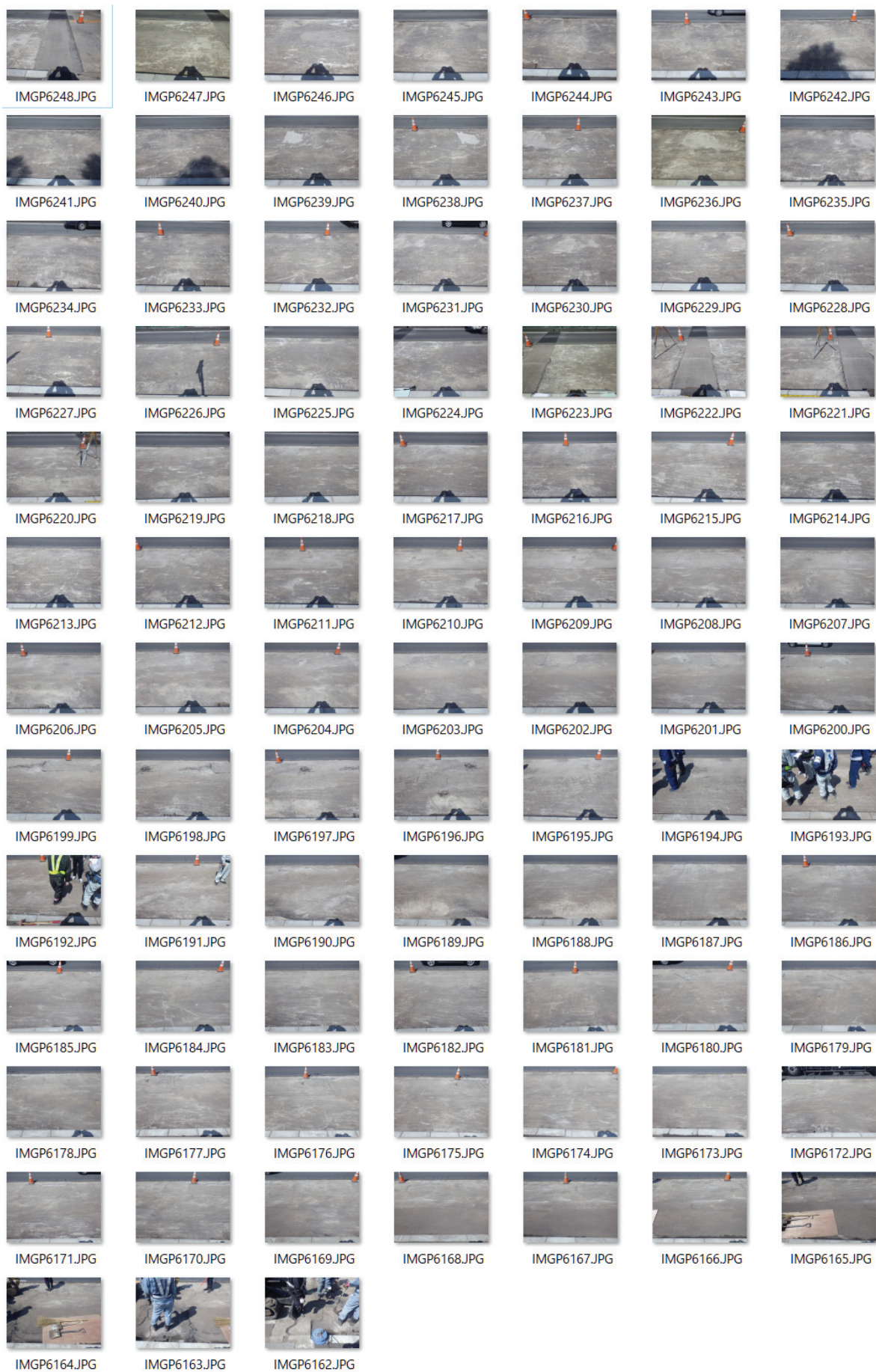


図-3.5.1 下り側床版上面の状況（下り，A1～P3 間）

4. 結果

4.1 舗装路面と床版上面の関係

図-4.1.1～4.1.16 に、舗装路面の状況とそれぞれの舗装下の床版上面の状況を対比して示す。そのうち、舗装の損傷とコンクリートの損傷に関係があると考えられる点について以下に補足する。

P1-P3 間の箱桁区間では、センターライン付近に舗装のひび割れが見られ、概ね 2box の箱桁間の床版上に限定して見られる傾向があった。それに対して、A1-P1 間では、センターライン付近に限らず、舗装のひび割れが見られた。

A1-P1 間は、図-4.1.2（及び後掲図-5.4.1）に示すように、舗装路面に走行直角方向のひび割れが多く見られた。これらの舗装のひび割れ下の床版上面には、コンクリートの浮きと一部に図-4.1.1(d), (e)に示すようなひび割れが認められたが、舗装のひび割れと位置が一致するようなひび割れは見られなかった。ただし、同図(a), (c)に示した舗装のひび割れは、両車線にわたり幅員方向に概ね一直線に生じていて、その舗装のひび割れ直下の床版コンクリートにコンクリートの貫通ひび割れが見られた。

図-4.1.3 では、舗装の補修箇所にも再補修した箇所が見られた。その直下には、コンクリートの上面補修と もう一つの上面補修の間の既存コンクリートがひび割れて、著しく損傷していた。

図-4.1.5 では、舗装のひび割れ形状と床版上面のひび割れ形状が概ね一致していることから、コンクリートのひび割れに起因して舗装にひび割れが生じた部分であると推察される。図-4.1.12 でも同様の傾向が見られた。

図-4.1.7 は、舗装、床版ともに部分補修が行われていた箇所を示す。コンクリートの補修材に損傷が見られたが、舗装路面には明確な変状が見られなかった。

図-4.1.8 では、舗装の補修状況から、舗装補修後にその補修範囲の外側で劣化が生じて、再度舗装の部分打換えが行われたと考えられる。しかし、その周囲で舗装、コンクリート床版ともに劣化範囲が広がっていると同時に、コンクリートの補修材の端部も損傷が生じていた。その下は、土砂が詰まっていた、掘ると鉄筋が露出した。この補修材の損傷は、その下の既存コンクリートが補修材を支持できない状態になって、補修材の端部付近に大きい付加（曲げ）がかかったことによると推察される。このような舗装やコンクリート床版の再劣化の要因として、補修時に取り除くべき範囲が特定しにくかったこと、舗装の部分補修部は補修の境界だけでなく舗装自体も路面の水が浸透しやすいこと¹⁾、何らかの理由により床版補修部の境界に水が浸入するわずかな隙間が生じやすかったことが挙げられる。鉄筋の露出までは確認できなかったが、図-4.1.10, 12, 15, 16 も同様に、舗装とコンクリートの補修部の境界付近で損傷が見られた。

図-4.1.17～18 に、床版の貫通孔を示す。以前に調査された跡であり、孔の内部に床版下面から 160 mm、上面から 35 mm の位置にコンクリートの水平ひび割れが見られた。

図-4.1.19 に、調査時におけるセンターライン付近の舗装厚さを示す。調査時点でのセンターライン付近の舗装厚は約 80mm であった。

図-4.1.20～21 に、舗装を剥いだ直後に見られた湿潤箇所の状況と位置をそれぞれ示す。この時点では、床

版上面が明確に見えている状態ではなかった。夜半から当日朝にかけて 14 mm の雨であったため、舗装除去前の路面は濡れていたが、切削作業時には、雨が止んでいた。図-4.1.20 の撮影は、その翌日朝 10 時頃であったが、乾燥している部分との違いが明確であることから、舗装除去前から舗装と床版の間で湿潤であった箇所を表していると考えられる。なお、歩道と車道の境界部（歩車道境界）も湿潤であったが、車道工事前に歩道を打換えたときに、歩車道境界部の車道側舗装は仮施工であったため、水が一層浸透しやすい状況にあった。



(a) 路面

注) 黄色矢印はひび割れ位置を示す.



(b) 貫通ひび割れ (下り側舗装除去時)



(c) 貫通ひび割れ, センターライン付近の拡大

注) (b)~(c)はA1 から 8m 付近



(d) 貫通ひび割れ (下り側舗装除去時)



(e) センターライン付近の浮きとひび割れ

注) (d)~(e)はA1 から 5m 付近

図-4.1.1 A1-P1 間に見られた床版貫通ひび割れと周囲の床版上面の浮き, ひび割れ



(a) 路面



(b) 床版上面（下り側舗装除去時）

図-4.1.2 A1-P1 間の舗装のひび割れと床版上面の外観



(a) 舗装の補修



(b) 床版上面（下り側舗装除去時）



(c) 床版上面，損傷部（図(b)の破線部の拡大）

図-4.1.3 P1-P2 間の舗装補修と床版上面の補修，劣化（その1）



(a) 舗装の補修



(b) 床版上面（下り側舗装除去時）

図-4.1.4 P1-P2 間の舗装補修と床版上面の補修，劣化（その2）



(a) 舗装の補修



(b) 床版上面（下り側舗装除去時）

図-4.1.5 P1-P2 間の舗装補修と床版上面の補修，劣化（その3）



(a) 舗装の補修



(b) 床版上面（下り側舗装除去時）

図-4.1.6 P1-P2 間の舗装補修と床版上面の補修，劣化（その4）



(a) 舗装の補修



(b) 床版上面（下り側舗装除去時）

図-4.1.7 P1-P2 間の舗装補修と床版上面の補修，劣化（その 5）



(a) 舗装の補修



(b) 床版上面（下り側舗装除去時）



(c) 床版上面，損傷部，鉄筋露出 拡大



(d) 床版上面，損傷部，補修材の下

図-4.1.8 P1-P2 間の舗装補修と床版上面の補修，劣化（その 6）



(a) 舗装の補修



(b) 床版上面（下り側舗装除去時）

図-4.1.9 P1-P2 間の舗装補修と床版上面の補修，劣化（その 7）



(a) 舗装の補修

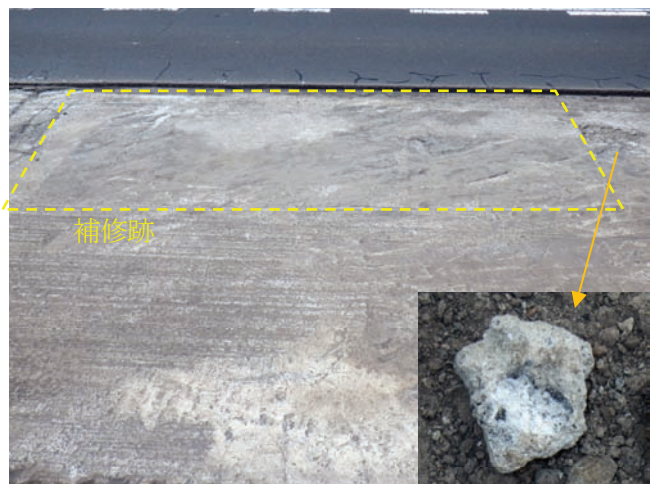


(b) 床版上面（下り側舗装除去時）

図-4.1.10 P1-P2 間の舗装補修と床版上面の補修，劣化（その 8）



(a) 舗装の補修



(b) 床版上面（下り側舗装除去時）右下は破片の拡大

図-4.1.11 P2-P3 間の舗装補修と床版上面の補修，劣化（その 1）



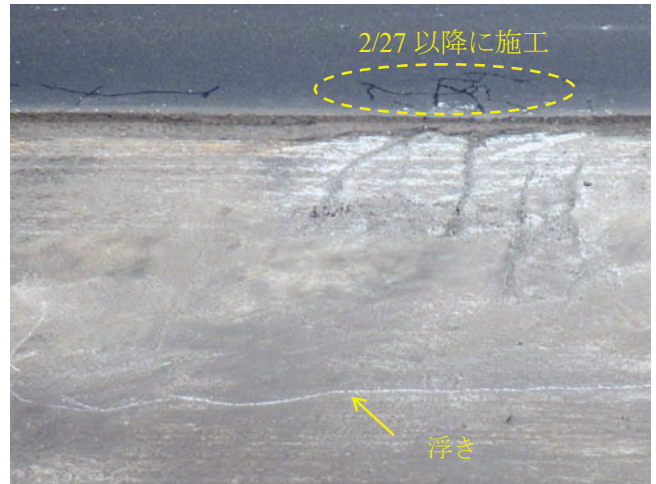
(a) 舗装の補修



(b) 床版上面（下り側舗装除去時）



(c) 舗装の補修（図(a)破線部の拡大）



(d) 床版上面，損傷部（図(b)破線部の拡大）

図-4.1.12 P2-P3 間の舗装補修と床版上面の補修，劣化（その2）



(a) 舗装の補修



(b) 床版上面（下り側舗装除去時）

図-4.1.13 P2-P3 間の舗装補修と床版上面の補修，劣化（その3）



(a) 舗装の補修



(b) 床版上面（下り側舗装除去時）

図-4.1.14 P2-P3 間の舗装補修と床版上面の補修，劣化（その 4）



(a) 舗装の補修



(b) 床版上面（下り側舗装除去時）

図-4.1.15 P2-P3 間の舗装補修と床版上面の補修，劣化（その 5）



(a) 舗装の補修



(b) 床版上面（下り側舗装除去時）

図-4.1.16 P2-P3 間の舗装補修と床版上面の補修，劣化（その 6）



(a) 舗装の補修



(b) 床版上面（下り側舗装除去時）

図-4.1.17 P1-P2 間床版の貫通孔の位置



図-4.1.18 P1-P2 間床版の貫通孔



図-4.1.19 センターライン付近の舗装厚
(A1-P1 間, A1 から 34m 付近)



(a) 湿潤範囲 W1, A1 から 87 m



(b) 湿潤範囲 W2, A1 から 94 m

図-4.1.20 P1-P3 間の舗装除去直後の滞水状況



(c) 湿潤範囲 W3, A1 から 110 m



(d) 湿潤範囲 W4, A1 から 115 m



(e) 湿潤範囲 W5, A1 から 120 m



(f) 湿潤範囲 W6, A1 から 128 m

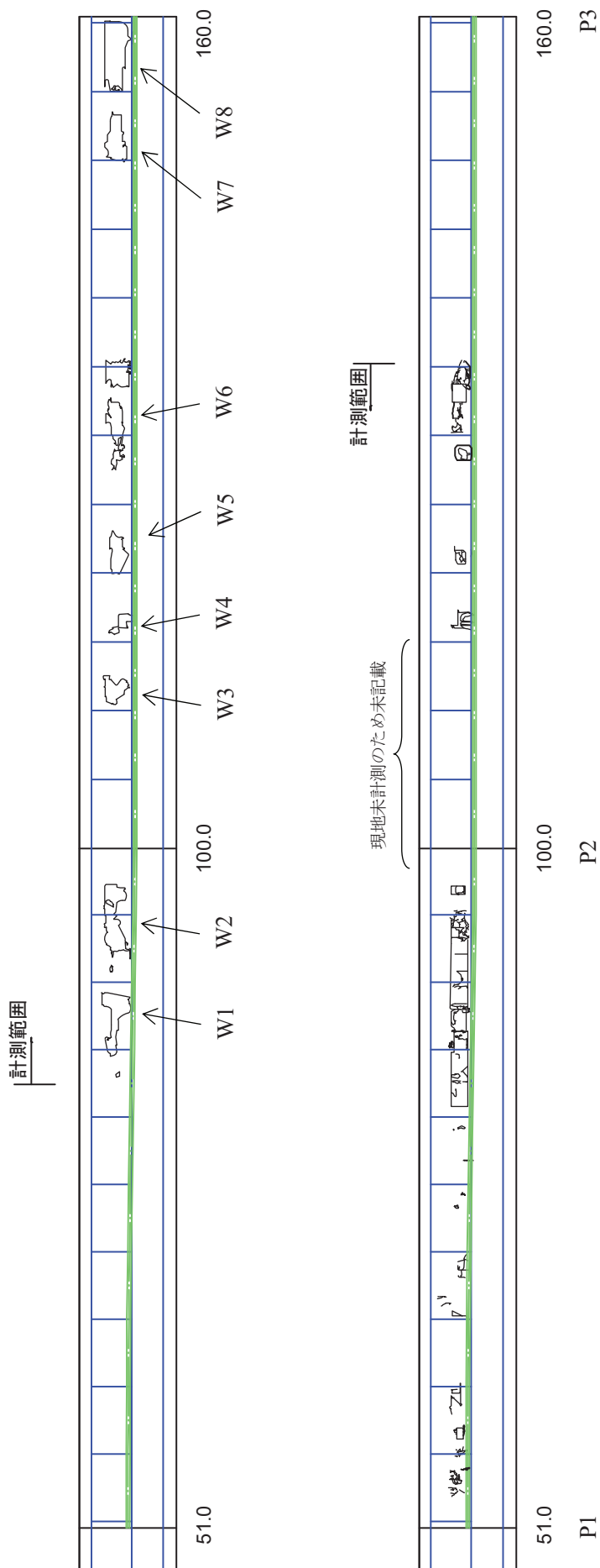


(g) 湿潤範囲 W7, A1 から 150 m



(h) 湿潤範囲 W8, A1 から 155 m

図-4.1.20 P1-P3 間の舗装除去直後の滞水状況（つづき）



注) W1～W8 は、舗装除去時に見られた湿潤範囲を表す。

図-4.1.21 P1-P3 間の舗装除去直後の滞水状況（上図）と舗装路面の補修跡・損傷状況（下図）
（下り線のみ）

4.2 車載式レーダの測定結果

Y 橋で得られた合成後の路面画像及び電磁波データ（平面図）を図-4.2.1～図-4.2.2 に示す。既往の実物大供試体実験より得られた知見に基づいて、Y 橋の床版上面の状態をグループ 1～3（表-4.2.1）の 3 つに分類した^{2),3)}。分類した結果を図-4.2.3 に示す。以下では、Y 橋の床版上面の状態を分類した結果について、各グループの代表的なデータを用いて説明する。

表-4.2.1 RC 床版上面の状態分類

分類	推定要因
グループ1	健全
グループ2	舗装剥離, 浅い土砂化, 水平クラック等の疑いあり
グループ3	深い土砂化, 床版上面の滞水等の疑いあり

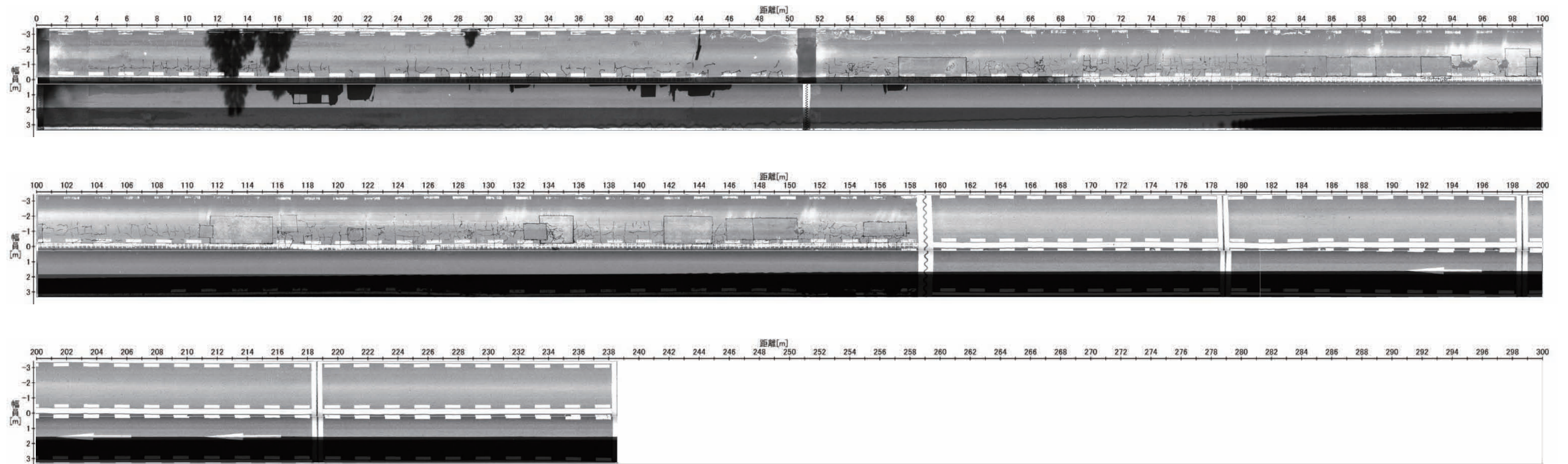


図-4.2.1 Y 橋の路面画像

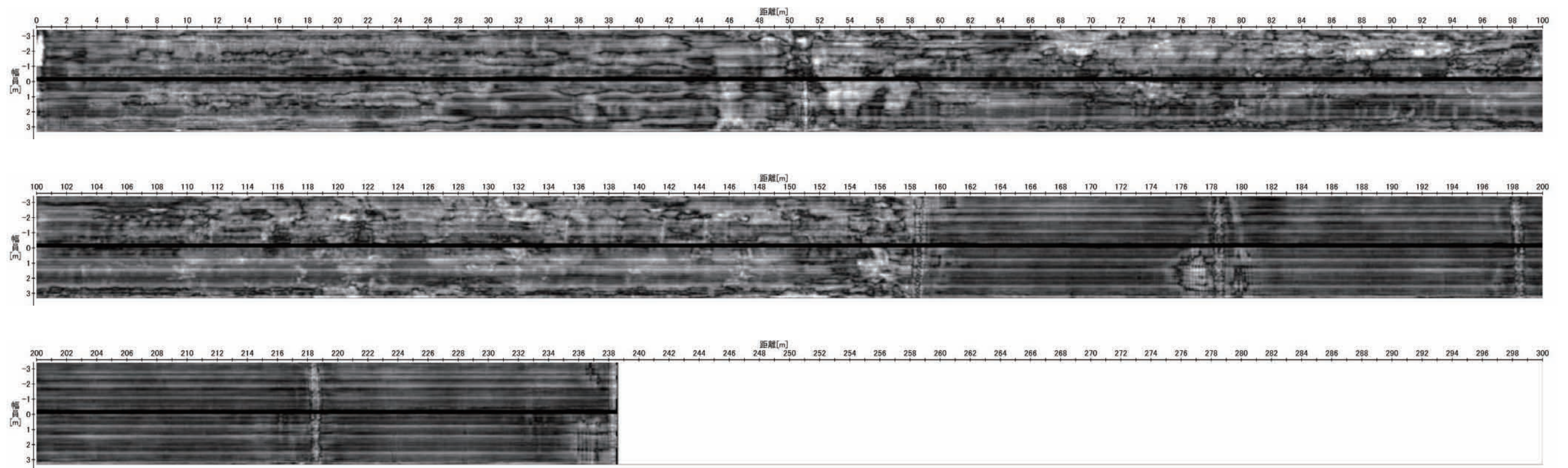


図-4.2.2 Y 橋の電磁波データ（床版上面付近の平面図）

凡例	分類	推定要因
	グループ1	健全
	グループ2	舗装剥離, 浅い土砂化, 水平クラック等の疑いあり
	グループ3	深い土砂化, 床版上面の滞水等の疑いあり

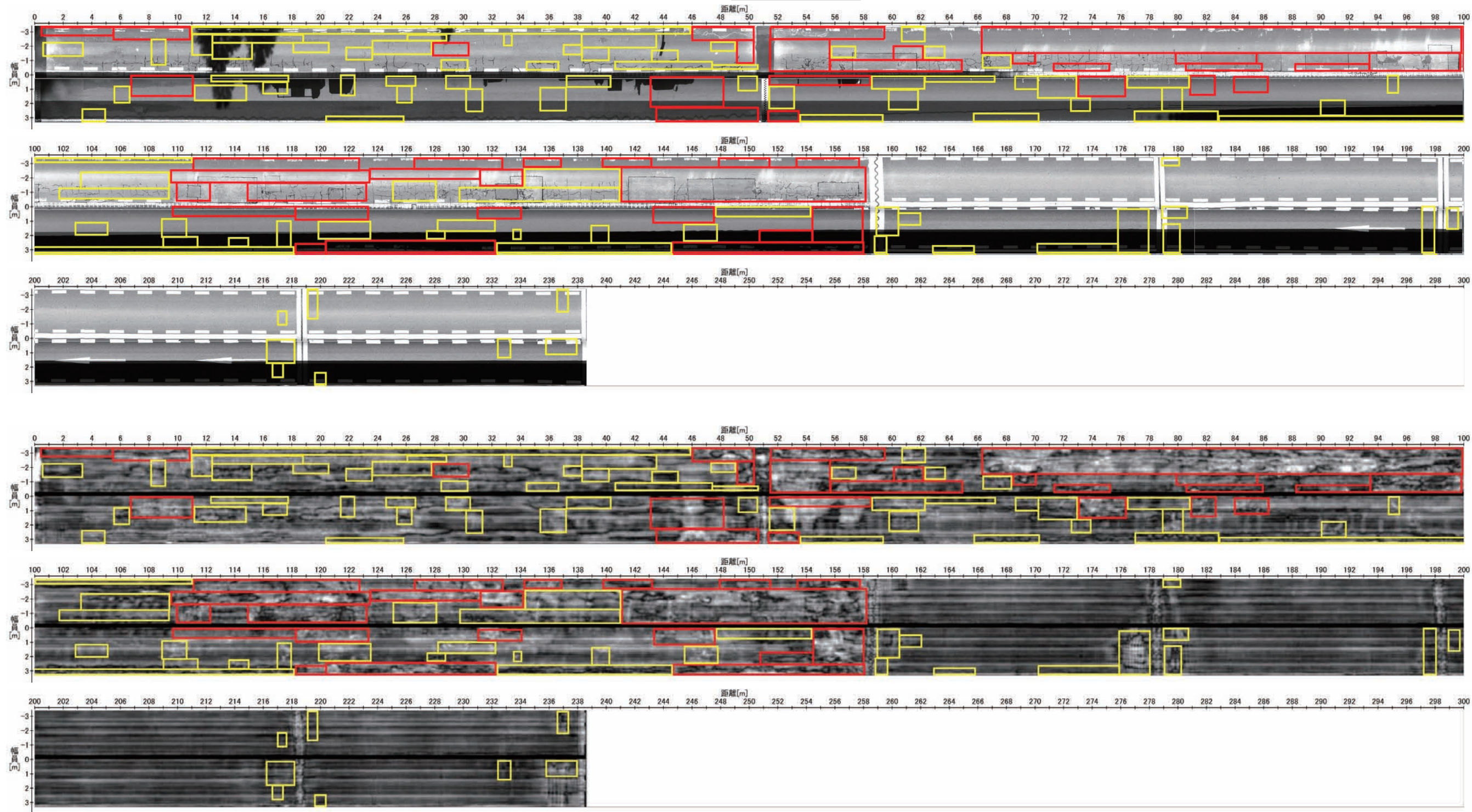


図-4.2.3 分類結果

(1) グループ 1 の分類

アスファルト舗装, RC 床版が健全（材料レベルでの損傷がなく両者が密着）な場合は, アスファルト舗装とコンクリートの比誘電率に範囲があるものの, それぞれの材料の境界における電磁波の反射が面的に一樣と言える. この条件を模擬した実物大供試体実験より, 反射信号の縦断面図は, 「RC 床版上面の反射信号が一樣」であり, 「鉄筋の反射信号のコンターが円弧状」に見える知見を得ている. これらの特徴を有する反射信号を基準とし, グループ 1 と分類する. Y 橋においてグループ 1 に分類したデータを図-4.2.4 に示す.

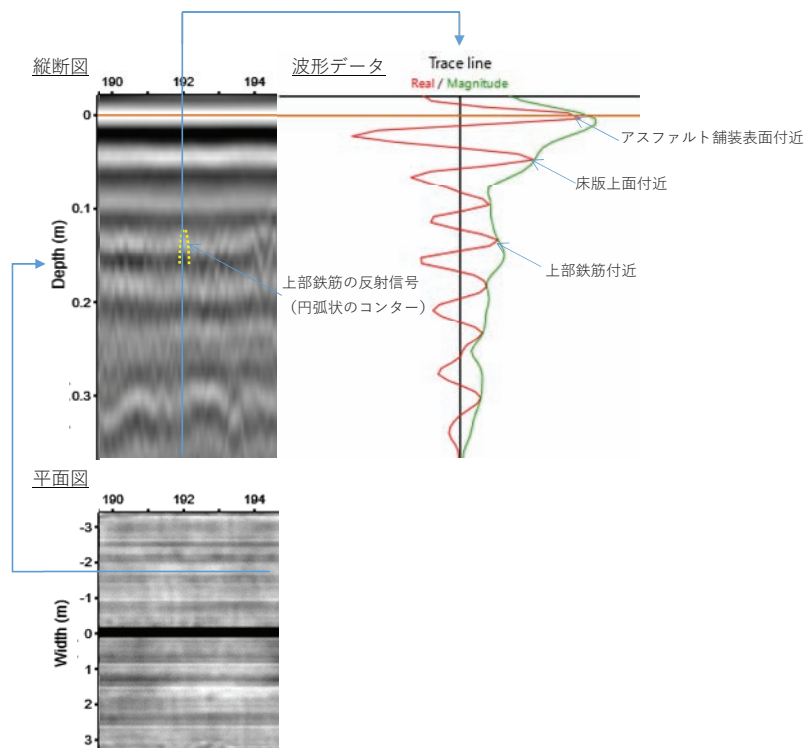


図-4.2.4 Y 橋においてグループ 1 に分類した反射信号

(2) グループ 2 の分類

RC 床版上面に浅い土砂化、舗装剥離及び水平クラック等が生じる場合は、材料の比誘電率が変化し、電磁波の反射信号の強度や透過性に変化が生じる。この条件を模擬した実物大供試体実験より、グループ 1 と比較すると、浅い土砂化、舗装剥離及び水平クラックを模擬した供試体の縦断面図では、鉄筋の円弧状のコンターが不明瞭に見える知見を得ている。これをグループ 2 と分類する。Y 橋において、前項(1)でグループ 1 に分類したデータとグループ 2 に分類したデータの比較を図-4.2.5 に示す。グループ 1 に比べて、グループ 2 に分類したデータは、上部鉄筋付近の深度において円弧状のコンターが不明瞭であることがわかる。

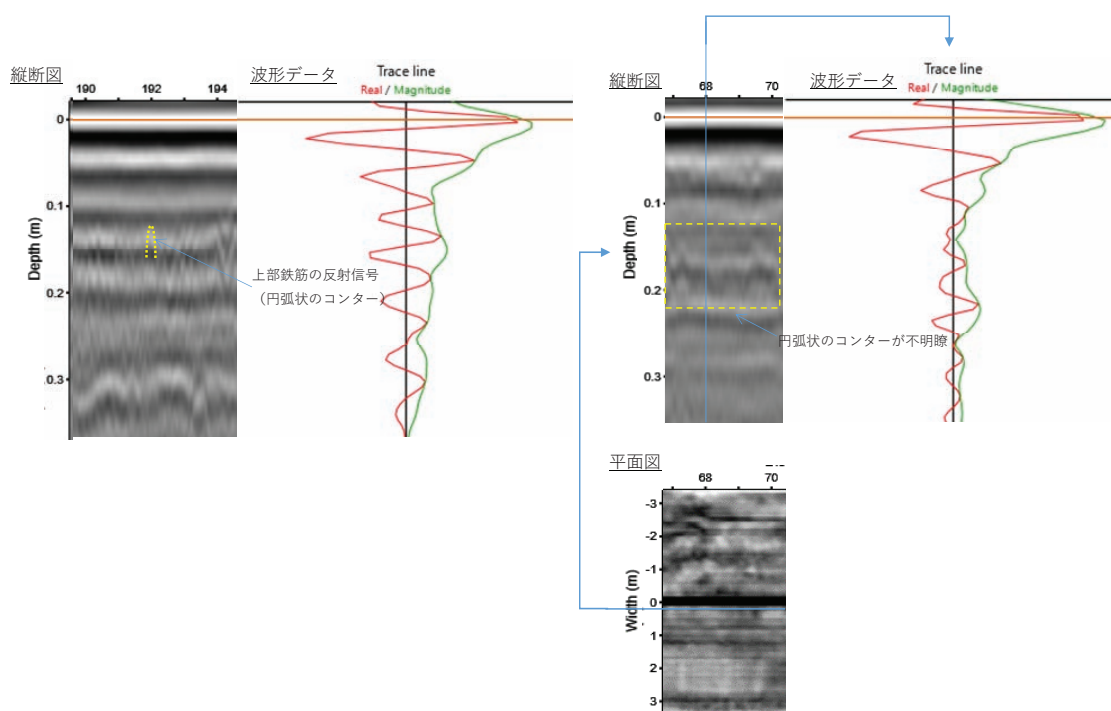


図-4.2.5 Y 橋におけるグループ 1 とグループ 2 の比較

(3) グループ 3 の分類

RC 床版上面に深い土砂化や滞水等が生じる場合は、材料の比誘電率が変化したり新たな物質が加えられ、電磁波の反射信号の強度や透過性に変化が生じたり新たな反射信号を受信する。この条件を模擬した実物大供試体実験より、グループ 1 と比較すると、深い土砂化及び滞水を模擬した供試体の縦断面図では、RC 床版上面の反射信号の強度が増大するように見え、かつ、鉄筋の円弧状のコンターを視認できない知見を得ている。これをグループ 3 と分類する。前項(1)でグループ 1 に分類したデータとグループ 3 に分類したデータの比較を図-4.2.6 に示す。グループ 1 と比べて、床版上面付近の反射信号が増大し、上部鉄筋付近の深度において円弧状のコンターが消失していることがわかる。

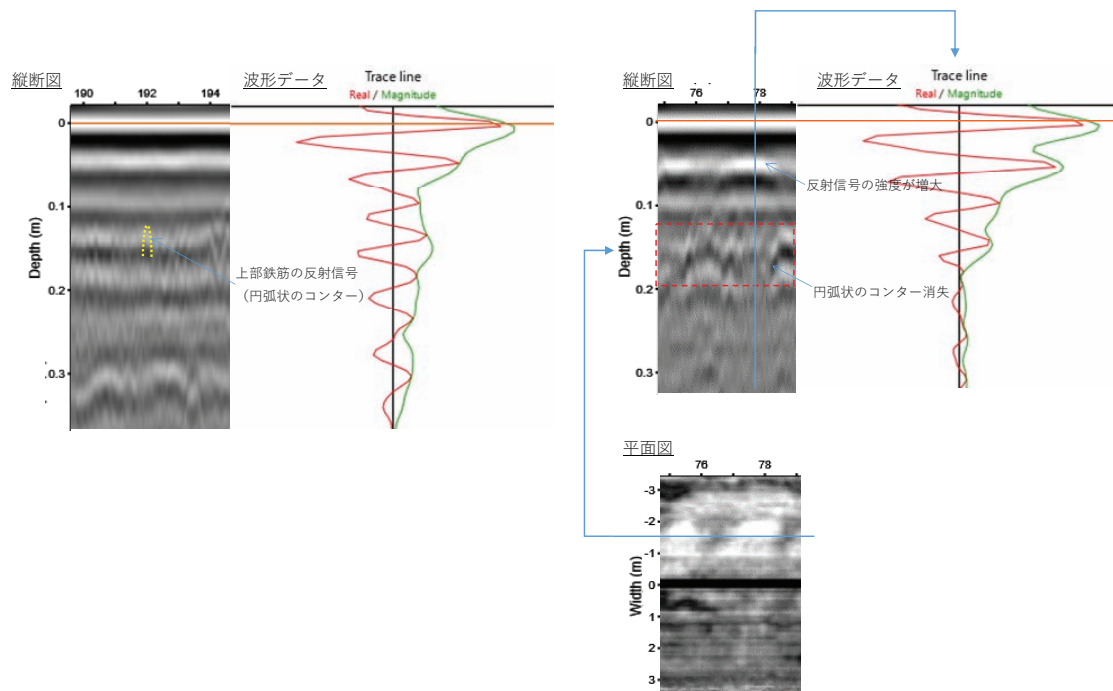


図-4.2.6 Y 橋におけるグループ 1 とグループ 3 の比較

(4) まとめ

図-4.2.3 に示した分類結果は、グループ 1 の基準信号と比較して、グループ 2 及びグループ 3 を分類して得られた。これらの結果より、土砂化や滞水の疑いがあるグループ 3 と判定される箇所が A1-P3 間の広範囲にわたり確認された。また、グループ 3 ほど重篤ではないが、浅い土砂化、舗装剥離及び水平ひび割れが疑われると判定される箇所も複数箇所を確認された。

4.3 カート式レーダ（高周波型）の測定結果

調査に用いたカート式レーダ装置は、車載式レーダ装置に比べ探査速度が遅く細かなピッチでのデータが得られ、この結果、高精度な画像解析が可能となる。主として補修設計や床版補修工事で詳細な補修範囲や損傷程度を把握する事を目的に使用されることを想定している。本節ではY橋の調査で得られたレーダデータを画像処理し、損傷範囲を的確に検出することができるか検証した。

4.3.1 レーダデータの判定方法

電磁波は比誘電率の異なる物質の境界面において、反射と透過を繰り返しながら伝播する。コンクリート床版が健全な場合は舗装と床版の境界で明確な反射があるが、床版の表面付近が劣化した床版では不明瞭な反射となる。レーダ波形を基に処理した画像データより、この境界部付近の乱れの度合いを評価し判定する。判定方法は実物大供試体実験により床版上面の状態を3つのグループに分類した事例が報告されている^{2,3)}。また、パルス式レーダを用いた供試体の検証では、レーダ反射波を画像化した縦断断面から劣化の大きさや深さを推定できることが報告されている⁴⁾。図-4.3.1にRCレーダを用いたコンクリートの劣化検知事例を示す。Y橋のデータでも縦断断面画像のコンターの連続性や乱れの度合いと実際の損傷範囲の整合を確認した。

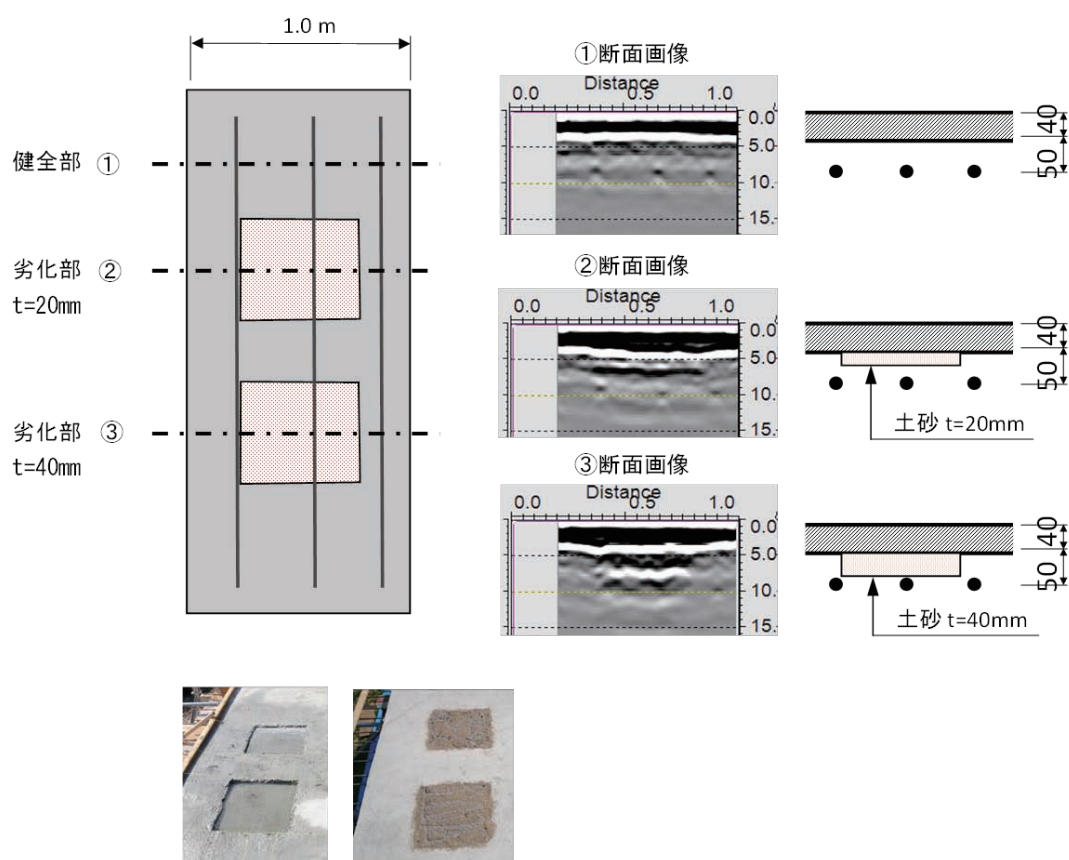


図-4.3.1 RCレーダを用いたコンクリートの劣化検知事例³⁾

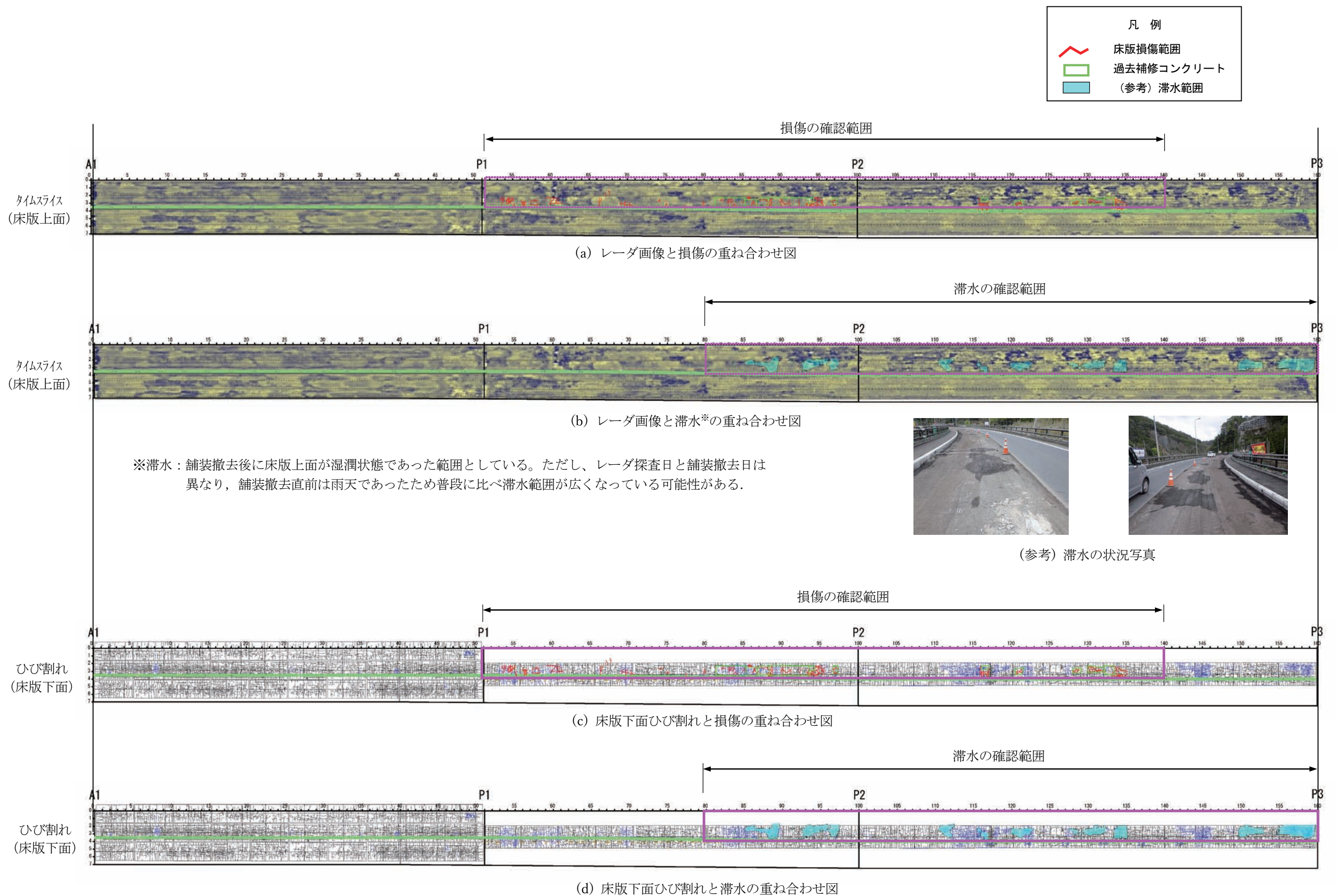
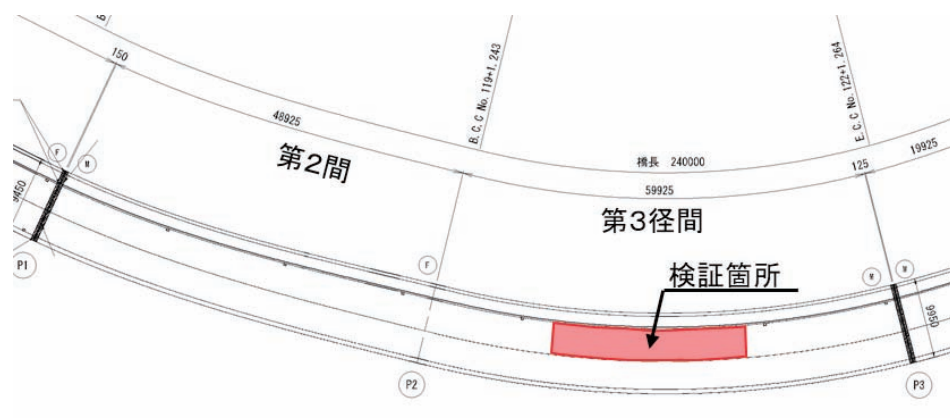
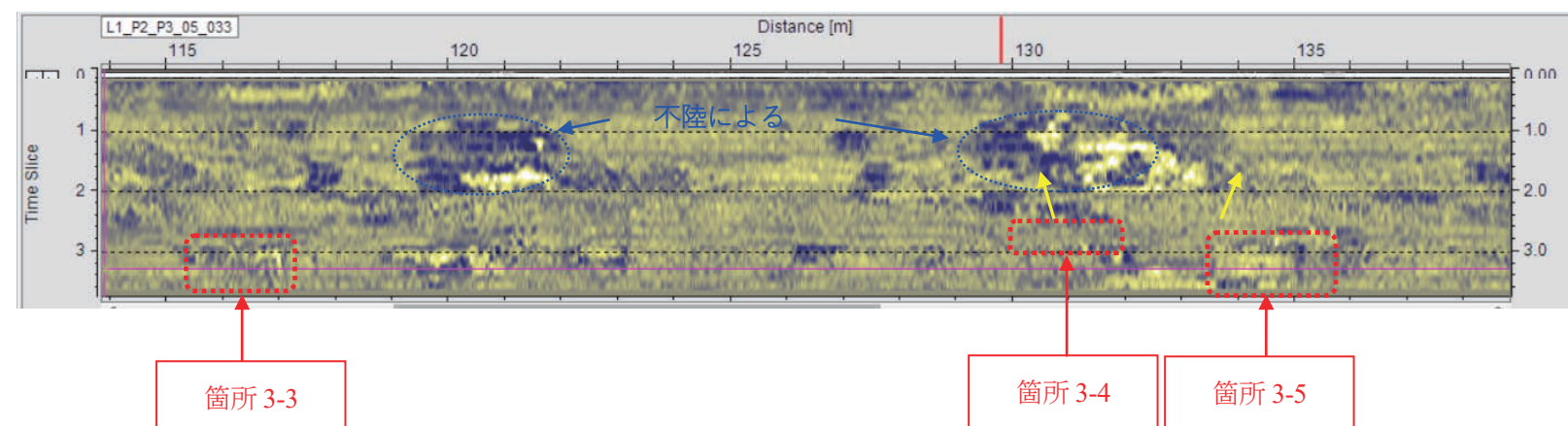


図-4.3.2 タイムスライス画像と損傷図



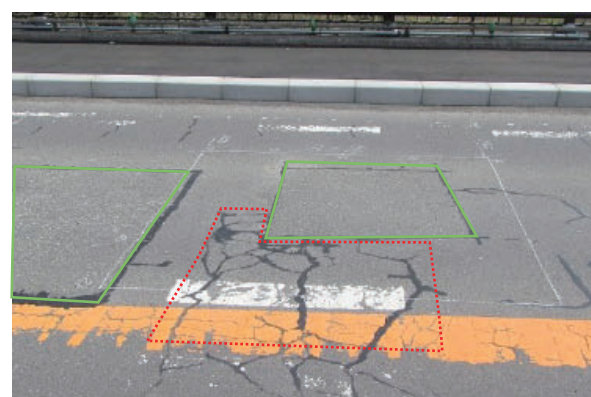
(a) 検証箇所位置図

タイムスライス
(床版上面)

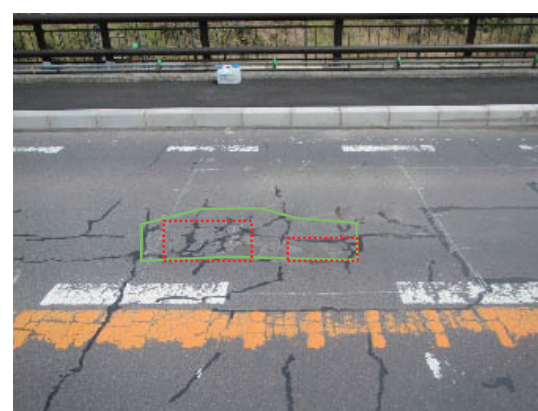


(b) 検証箇所のレーダ画像

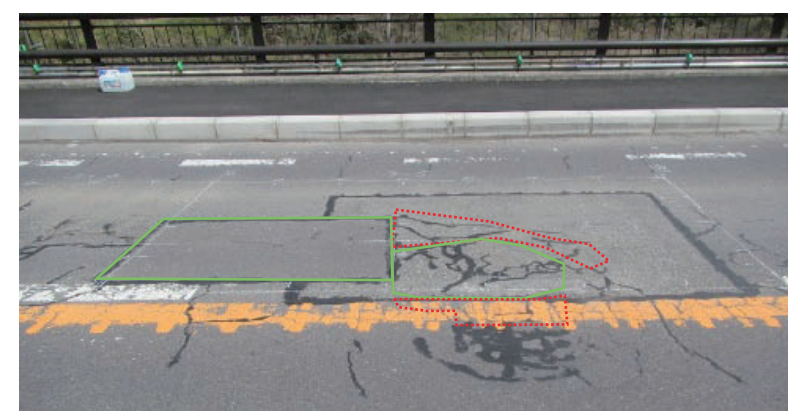
筒所 3-3



筒所 3-4



筒所 3-5

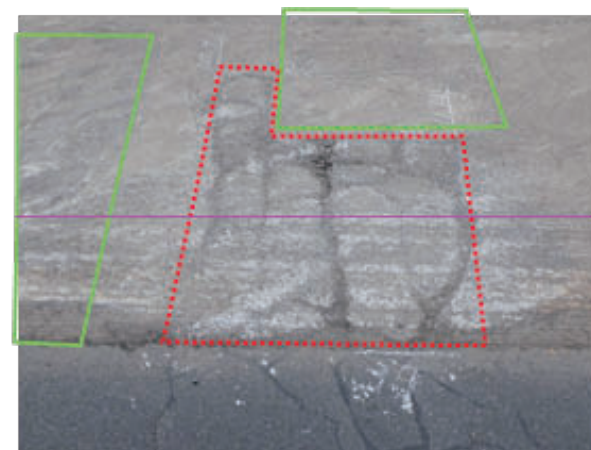


舗装写真
(舗装撤去前)

床版上面写真
(舗装撤去後)

凡 例

- 床版損傷範囲
- 過去補修コンクリート



(c) 検証箇所の状況写真

図-4.3.3 レーダ画像化データと損傷状況

4.3.2 損傷箇所の検証

カート式電磁波レーダ（高周波）調査より得られた結果と考察を示す。

図-4.3.2(a), (b)は、レーダ探査した電磁波波形データを三次元的に画像化し、床版上面付近のタイムスライス断面画像と損傷・滞水の重ね合わせた図である。いずれも損傷箇所・滞水箇所付近は反射強度の差が大きく画像上では濃淡のムラが見られる。特に第2・第3径間の下り線のムラが著しい。ただし、損傷箇所・滞水箇所の位置や大きさは必ずしも一致はしておらず、損傷範囲以外でも反射強度分布の差が大きい箇所がある。この理由としては床版上面の不陸により一定深度のタイムスライスにならないこと、また、補修コンクリートや水分量等により比誘電率が一定ではなく、単純に損傷・滞水を表す分布ではないことが挙げられる。したがって、タイムスライス画像では損傷・滞水の疑いのある範囲は推定できるが、損傷、滞水の特定は困難であると考えられる。

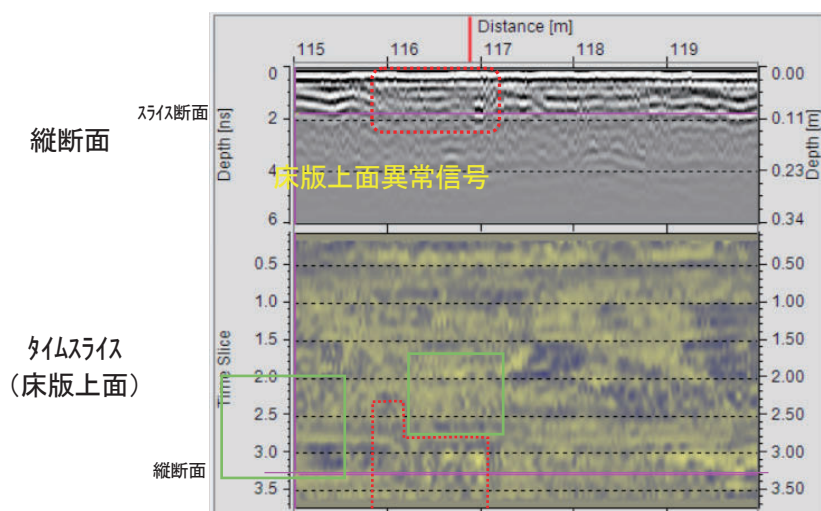
図-4.3.2(c), (d)は、床版下面のひび割れと損傷・滞水の重ね合わせ図である。いずれも損傷箇所・滞水付近は床版下面のひび割れが多く、漏水や遊離石灰が見られることが多い。滞水に着目すると、ほとんどの場合、滞水が確認された箇所で床版上面に損傷が確認された。

図-4.3.3は、第3径間で舗装撤去後に損傷及び滞水が確認できた箇所で、レーダ画像との整合を確認した3箇所の位置及び状況写真を示している。また、図-4.3.4～図-4.3.6は、3箇所の検証箇所毎に舗装撤去後の床版上面写真、レーダ画像（縦断面及びタイムスライス）、床版下面写真及び損傷・過去の補修コンクリートとの重ね合わせを示している。図-4.3.4～図-4.3.6のレーダ縦断面図では劣化箇所と床版上面付近のコンターの連続性がなく乱れの度合いが大きい範囲が一致していることが分かる。したがって、劣化範囲は縦断面図から判定が可能である。

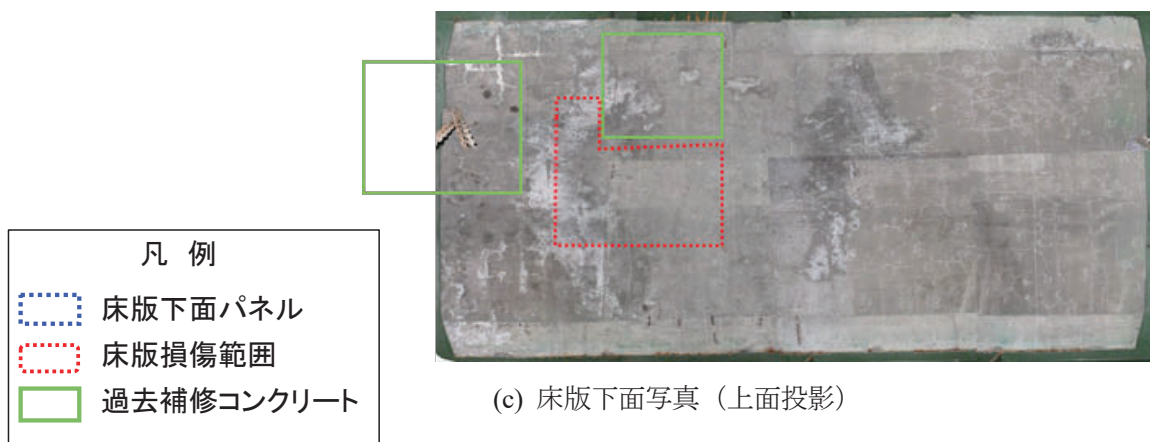
補修コンクリート周辺が損傷



(a) 床版上面写真（舗装撤去後）



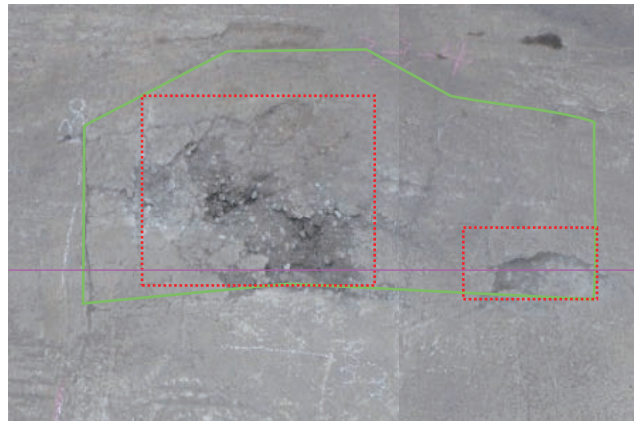
(b) レーダ画像（代表断面）



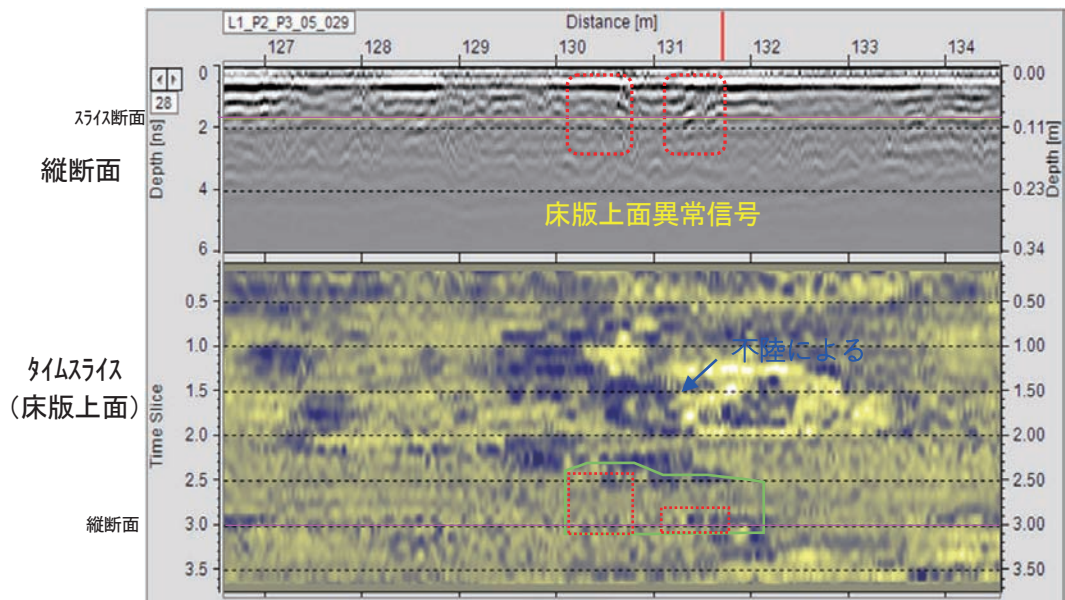
(c) 床版下面写真（上面投影）

図-4.3.4 箇所 3-3 の状況とレーダ画像

補修コンクリート内が損傷



(a) 床版上面写真（舗装撤去後）



(b) レーダ画像（代表断面）

凡 例	
 	床版下面パネル
 	床版損傷範囲
 	過去補修コンクリート



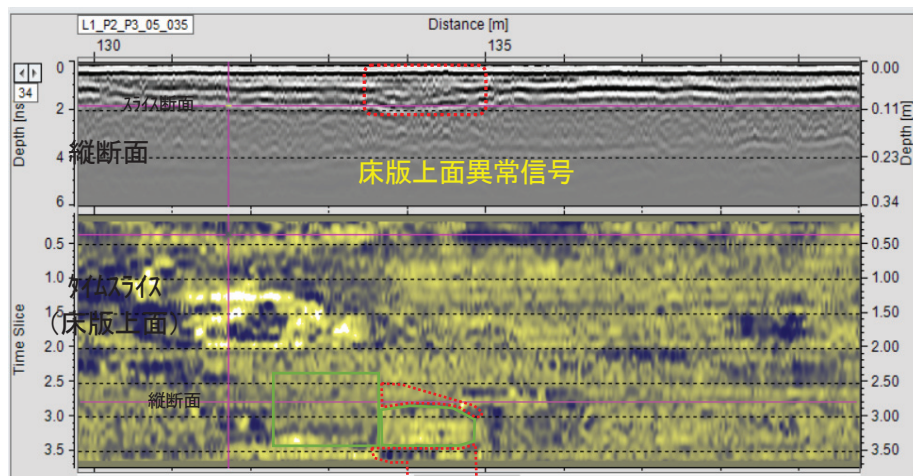
(c) 床版下面写真（上面投影）

図-4.3.5 箇所 3-4 の状況とレーダ画像

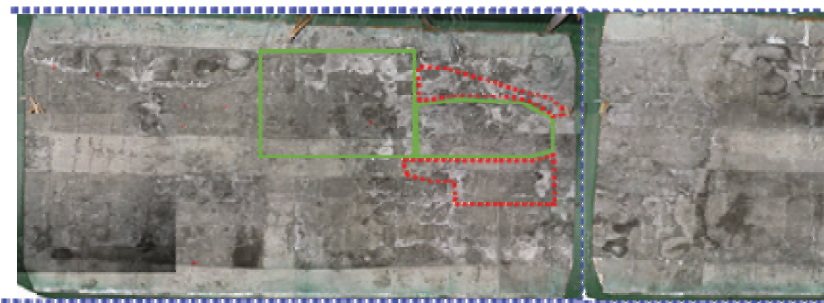
補修コンクリート周辺が損傷



(a) 床版上面写真（舗装撤去後）



(b) レーダ画像（代表断面）



(c) 床版下面写真（上面投影）

凡 例	
	床版下面パネル
	床版損傷範囲
	過去補修コンクリート

図-4.3.6 箇所 3-5 の状況とレーダ画像

4.4 カート式レーダ（中周波型）の測定結果

手押し型レーダの測定結果の概要を図-4.4.1 に示す。床版上面付近の深さに相当する時間の反射強度分布（タイムスライス断面）を示す。点検調書や開削時の特徴域を併せて示す。上り車線に限定してみたとき、反射強度が平均値からずれている領域を色合いの相違から異常域として識別でき、主要な特徴域がこの反射振幅の異常域に相当していることがわかる。また、電磁波レーダの記録範囲を図-4.4.2 に示す。

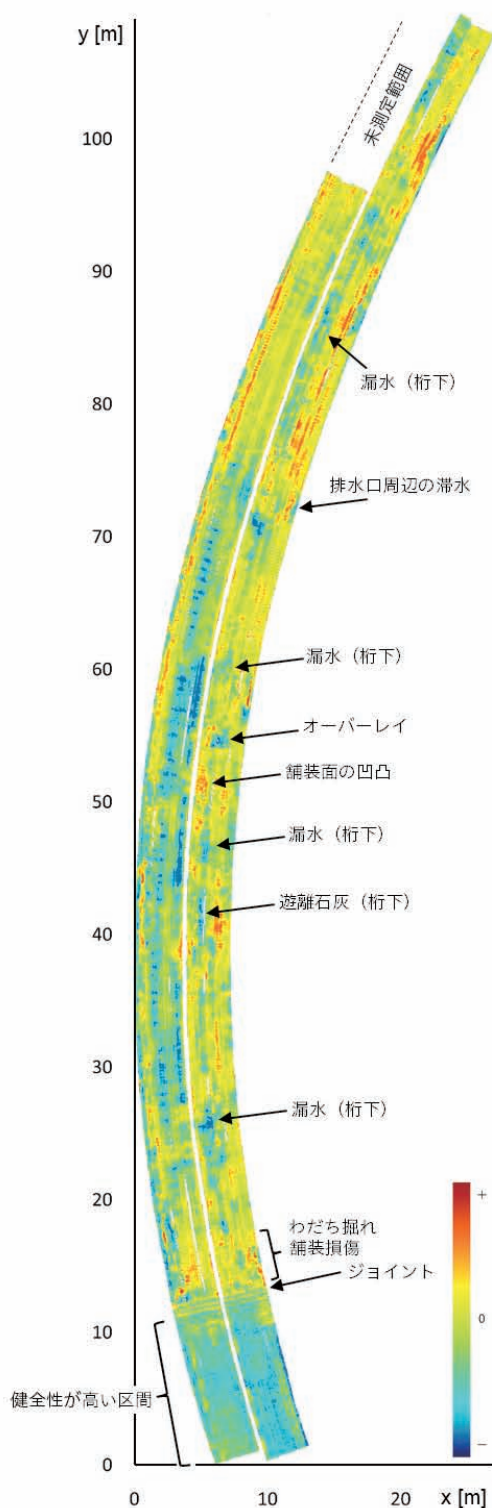


図-4.4.1 床版上面付近の反射信号（タイムスライス断面）の全体図

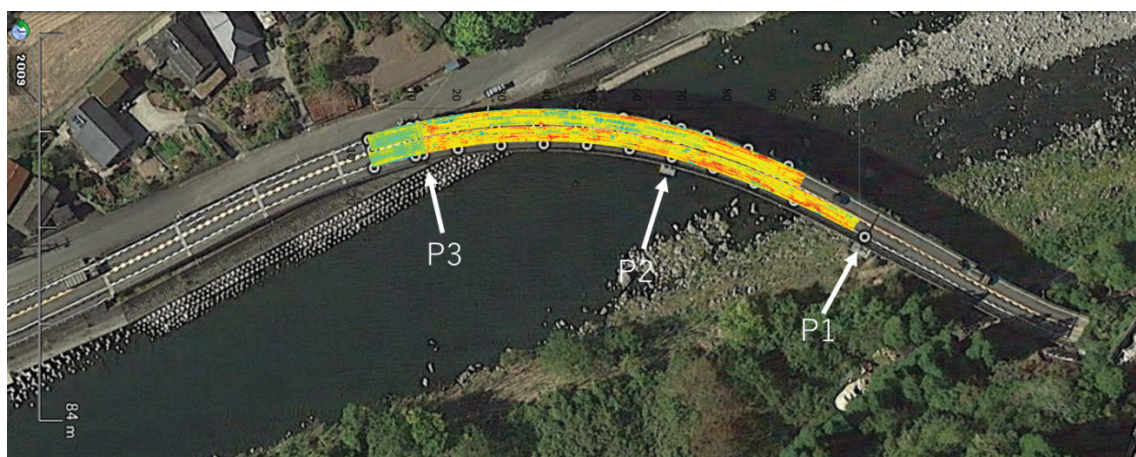


図-4.4.2 カート式レーダ（中周波型）による電磁波レーダ記録領域

ここで、暖色系は電磁波の極性が正側に振れていて、寒色系は負側に振れていることを示している。レーダの基本波形の極性は正負に振れており、正側に大きく振れた前後（深さ方向）で必ず負側にも大きく振れている。そのため、正負の極性を何らかの反射対象に関連づけすることは難しい。ただし、正→負、または、負→正の極性順序は反射境界の特性を表しており、これを利用することはできる。

しかし、ひとつのタイムスライス断面の振幅分布は、異常域の特定に十分有効である。P3-P4 間の健全性の高い領域では振幅の変化が少ないのに対して、健全性の低い P1-P3 間の領域では、周囲と色の異なる反射振幅の異常域が多く認められる。これは、舗装や床版コンクリートの何らかの状態変化が存在していることを示している。ただし、この状態変化は、床版上面の土砂化や舗装下の滞水域だけでなく、舗装の部分打換えや部分的なオーバーレイなどの領域も含まれる。一般的に橋梁のレーダ記録においては、レーダ断面上の反射振幅異常域の原因特定が課題となる。舗装面に周囲と相違がなければ、レーダのタイムスライス断面の反射振幅異常域の原因は舗装面ではなく、内部に何らかの状態や構造の相違が存在していると捉えることができる。

なお、下り線は上り線よりも負側に振れている領域が多いが、舗装の材質や厚さの相違も影響していると考えられ、参照情報もない状況で、ひとつのレーダ断面の情報のみ用いて健全性が低いと判断するのは避けたい。P3 より下り方向の区間は、変化がほとんどなく、健全性が高いと考えられるが、平均振幅は負の値を示している。

図-4.4.3 に、各種の調査結果図を併記したタイムスライス断面を示す。レーダの振幅値は図-4.4.1 と同じである。図-4.4.3 では、これに、舗装の部分打換えの位置、舗装開削後の観察による床版上面の滞水域と土砂化域、床版下面の点検による下面漏水の範囲を併せて示している。床版上面の変状域はすべて土砂化発生域とは限らない。また、床版上面において観察された、コンクリートのうきの領域を併せて示している。なお、箱桁による制限のため、下面点検を実施可能な範囲を参考を示している。

図-4.4.3 では、舗装の部分打換え、床版上面滞水、床版土砂化、床版下面漏水の範囲は、強い関連性があるとはいえない。また、これらは、レーダの振幅異常域に相当している場合が多いが、極性（色合い）との関連性は高くなく、ひとつのレーダ断面から異常種別の判別を行うことは難しい。ひとつのレーダ記録セッ

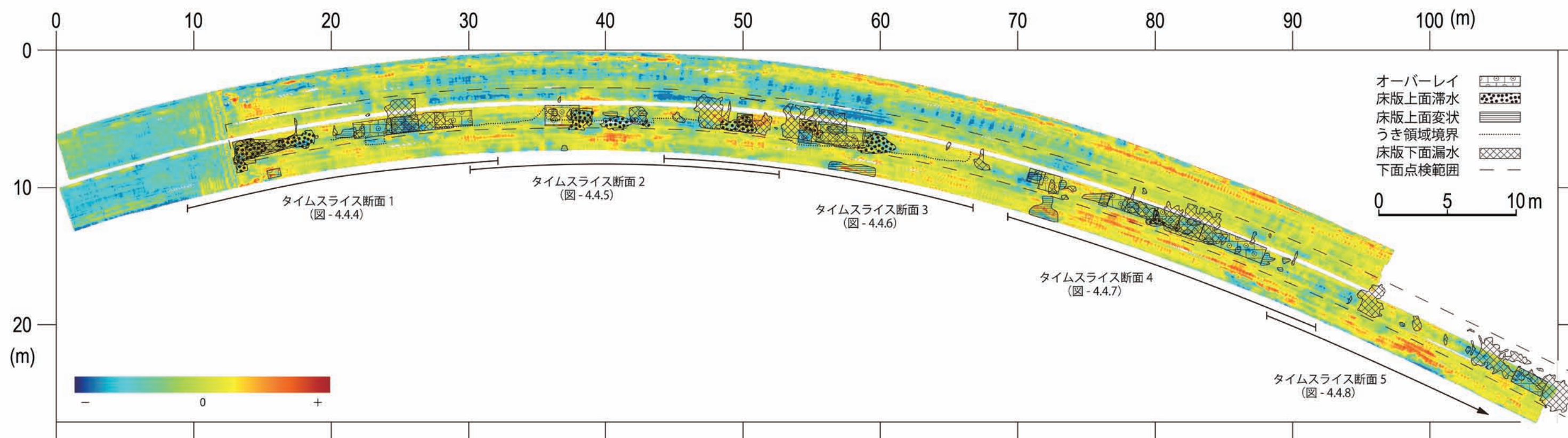
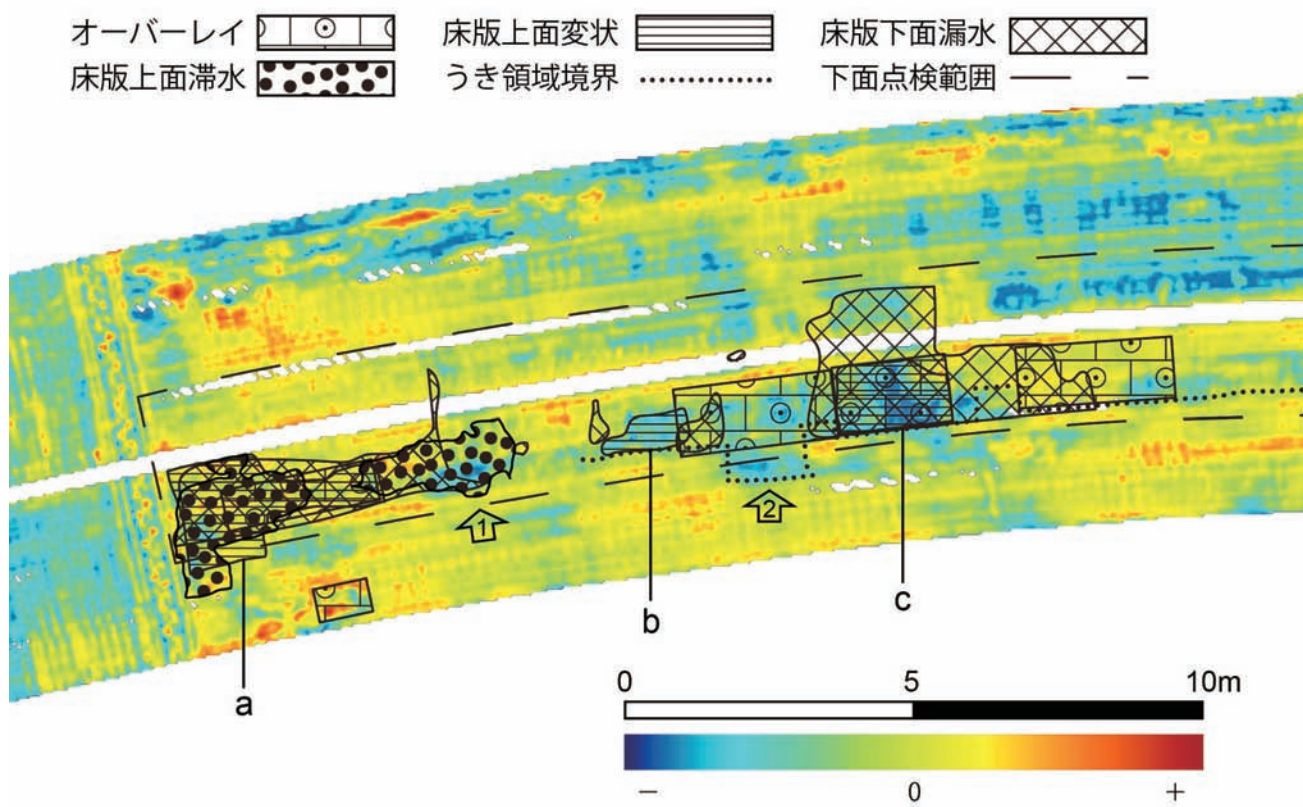


図-4.4.3 タイムスライス断面及び舗装部分打換え・滞水・土砂化・漏水域の分布

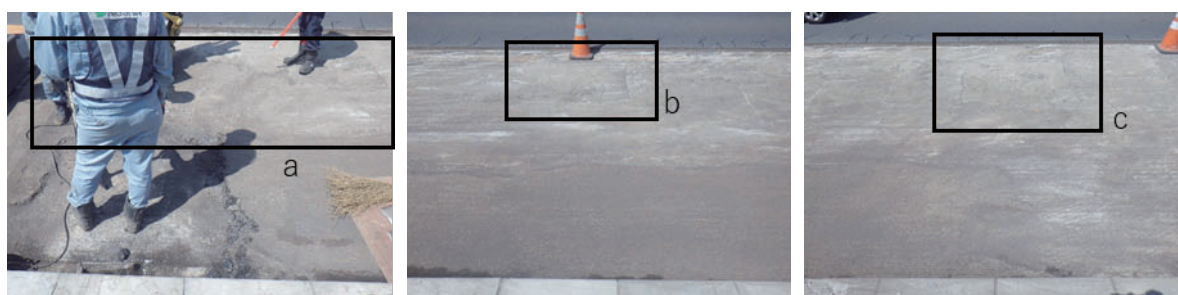
トには多数のレーダ断面が含まれており、パソコン画面上では深度による反射振幅の変化を観察することができる。

次に、およそ 20m の範囲ごとにタイムスライス断面の拡大図を図-4.4.4～図-4.4.8 に示す。凡例は図-4.4.3 に従う。レーダ断面図と併せて、開削時の床版上面の写真を示す。(a)にレーダのタイムスライス断面、(b)に開削後の床版上面写真、(c)に開削後に撮影した映像から作成した床版上面のオルソ画像、(d)に開削直後の床版上面写真を示す。(b)の床版上面写真は主要な土砂化発生箇所を含む写真を抜粋して掲載している。(c)のオルソ画像は縮尺が完全には整っていないが、土砂化発生箇所の相対的な位置や、開削直後の床版上面のたたきによる調査により引かれたうきの範囲を示す白線（チョーク）を読み取ることができる。(d)では滞水範囲が確認できる。(b)や(d)の写真は、手前側と奥側で縮尺が大きく異なる点に注意したい。調査時に指摘された箇所の多くが、レーダのタイムスライス断面において振幅異常として識別されていることがわかる。開削時の床版上面の土砂化域は、概ね振幅異常として観測されている。以下に詳細に述べる。

図-4.4.4 のタイムスライス断面 1 では土砂化が数カ所の地点で確認された。P1-P3 間には舗装の部分補修跡も存在している。また、下面漏水が認められた一部の位置で、床版上面にも滞水が確認されている。図(a)中矢印 1（中抜き矢印中に数字 1 を示す）の地点では、下面漏水を検出していないが、(d)の開削直後の写真に認められるように床版上面で滞水が存在していた。レーダは矢印 1 の地点の滞水箇所を振幅異常域として検出している。また、図中矢印 2 の地点では、全体的にうきが存在する領域の境界とレーダの振幅変化の境界が合致しており、全体的な異常域の傾向を捉えていることがわかる。うきの領域の境界線の分布は(c)のオルソ画像が参考になり、図中矢印で示している箇所に存在している。一方、b-c 間に広がる舗装の部分打換えと土砂化域の区別は単独のレーダ断面からは難しい。舗装の補修箇所は目視で判別できるため、路面の目視点検情報を合わせて判断することが望ましい。なお、図中で縦方向の縞模様は主筋の位置に相当している。主筋のパターンが消失している箇所は、床版上面や舗装において電磁波が散乱していることを示しており、状態または構造の異常が存在している場合が多い。図-4.4.4(a)においても、鉄筋パターンが消失している領域は、床版上面の土砂化や滞水が確認された箇所に相当している場合が多いことがわかる。なお、一般的に配力筋の検出（走査方向と平行な方向の鉄筋）は一般的な電磁波レーダの電磁波の指向性から検出が難しい。

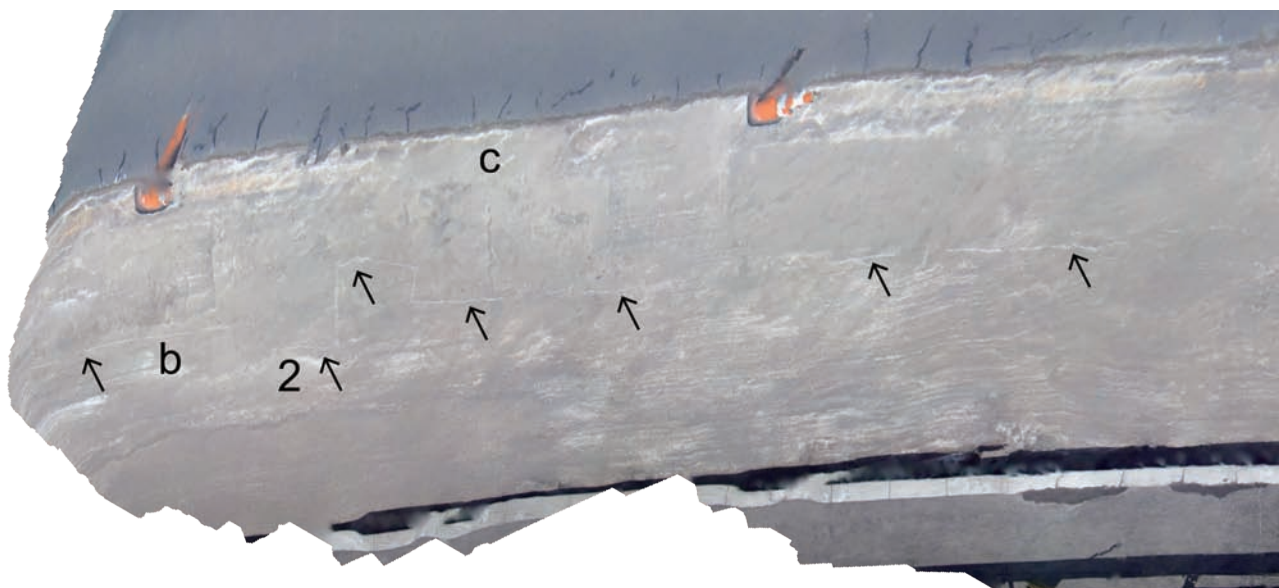


(a) タイムスライス断面 1



(b) タイムスライス断面 1 の床版上面写真

図-4.4.4 電磁波レーダのタイムスライス断面，床版上面写真，及び，床版上面の滞水の様子 (1)



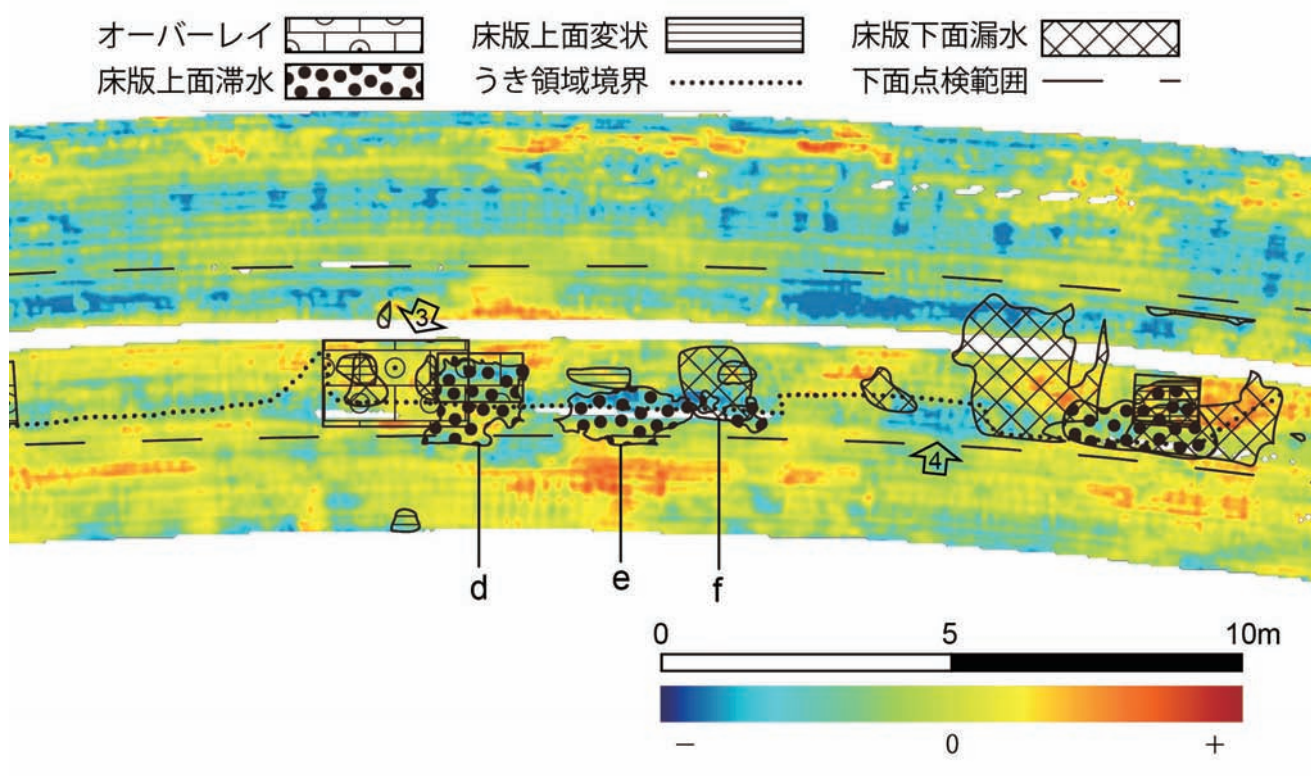
(c) タイムスライス断面1の床版上面のオルソ画像



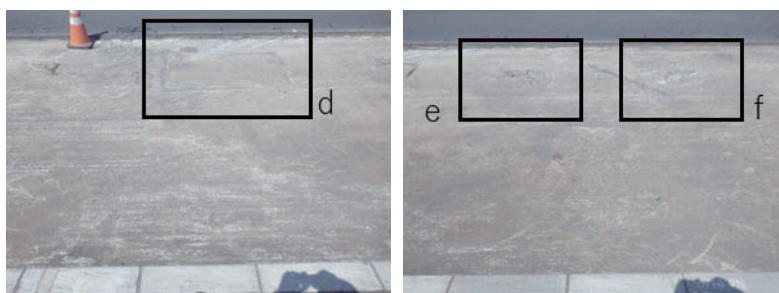
(d) タイムスライス断面1の滞水の様子

図-4.4.4 電磁波レーダのタイムスライス断面，床版上面写真，及び，床版上面の滞水の様子 (1)

図-4.4.5のタイムスライス断面2でも小規模な土砂化が数カ所で確認された。d,e,fの区間では土砂化または土砂化域の近傍域では、滞水が確認されており、両者の関係性が高い区間となっている。一方、d～fの区間では下面漏水の報告がない。d～fの領域においては、電磁波レーダのタイムスライス断面において、振幅異常や鉄筋パターンの消失域に相当し、明瞭に検出が行える。また、矢印3の地点には舗装の部分打換えがdの領域に一部重なっている。この舗装の部分打換えの領域のうち、dに重なっていない範囲はレーダ断面上では異常域として検出されておらず、舗装の部分打換えの存在に関わらず、床版上面の滞水域を良好に区別して検出できていることを示している。また、矢印4の地点においては、レーダ断面の異常にもかかわらず、開削による観察等で指摘事項がない。しかし、図-4.4.5(d)の写真の下に変色領域が広がっており（矢印）、実際には軽微な劣化が進行していた可能性がある。

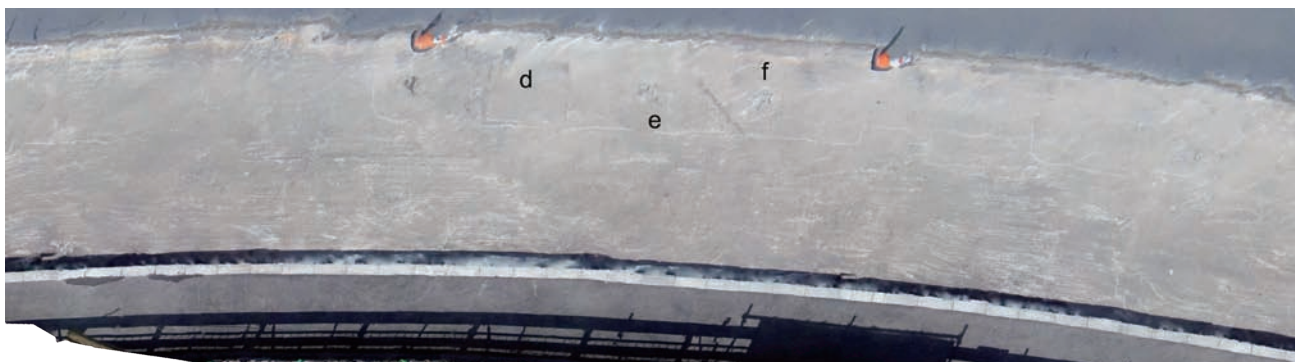


(a) タイムスライス断面 2

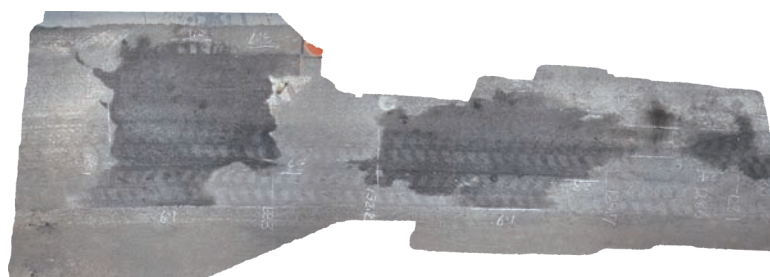


(b) タイムスライス断面 2 の床版上面写真

図-4.4.5 電磁波レーダのタイムスライス断面，床版上面写真，及び，床版上面の滞水の様子 (2)



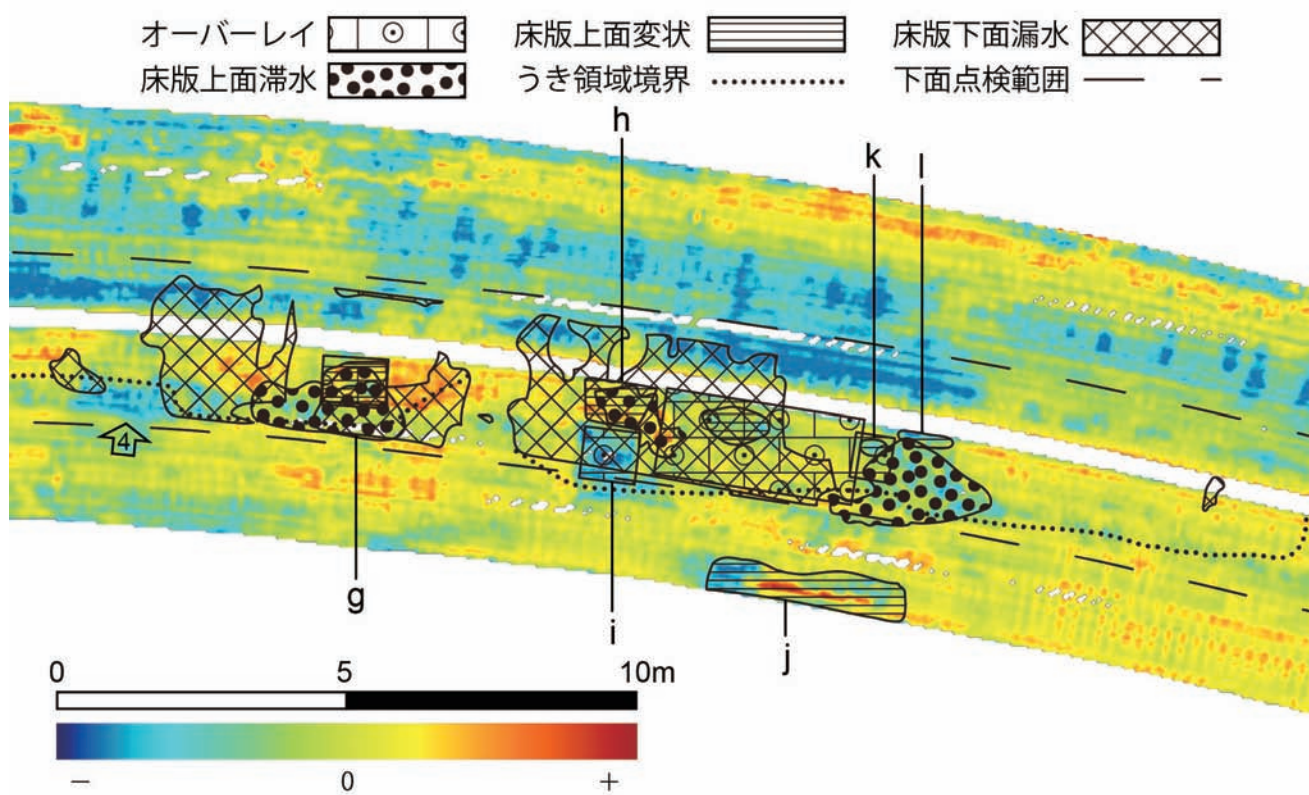
(c) タイムスライス断面 2 の床版上面のオルソ画像



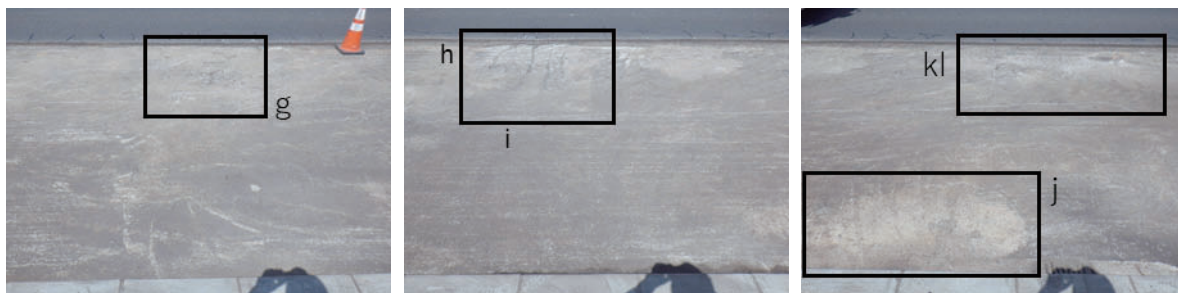
(d) タイムスライス断面 2 の滞水の様子

図-4.4.5 電磁波レーダのタイムスライス断面，床版上面写真，及び，床版上面の滞水の様子 (2)

図-4.4.6のタイムスライス断面3でも土砂化が確認された(g, h, k, l)。これらの土砂化の領域を含む周辺域で床版上面の滞水が確認された。また、g, hでは床版上面の滞水域を含むさらに広い範囲で下面漏水の範囲が存在している。一方で、k, l付近の床版上面の滞水域では下面漏水の報告がない。電磁波レーダのタイムスライス断面において、これらの土砂化検出位置は、振幅異常や鉄筋パターンの消失域に相当している。ここで、g, hでは正側に振れているのに対して、k, lでは負側に振れている。断面3の区間における、g, hとk, lの関係に限ると下面漏水の有無と合致しているものの、他の区間の結果と合わせて整理すると、床版上面の滞水と下面漏水の領域の関係を極性のみを指標にして判別することは難しい。一方で、iの領域では正方形のコンクリートの上面補修跡の範囲を明瞭に捉えている。タイムスライス断面2では舗装の部分打換えの領域は不明瞭であり、電磁波レーダによる調査においてノイズ情報となる舗装の部分打換えの記録への影響の判別はレーダ断面だけでは難しいことがわかる。

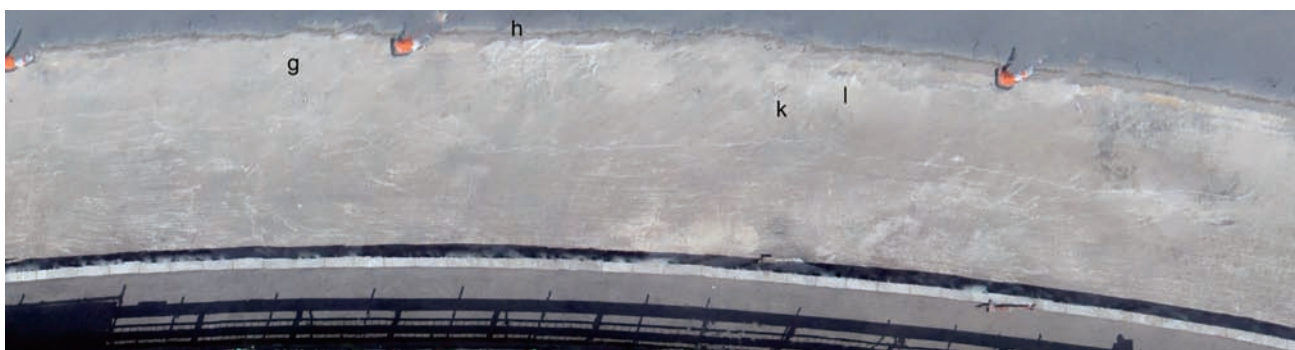


(a) タイムスライス断面3

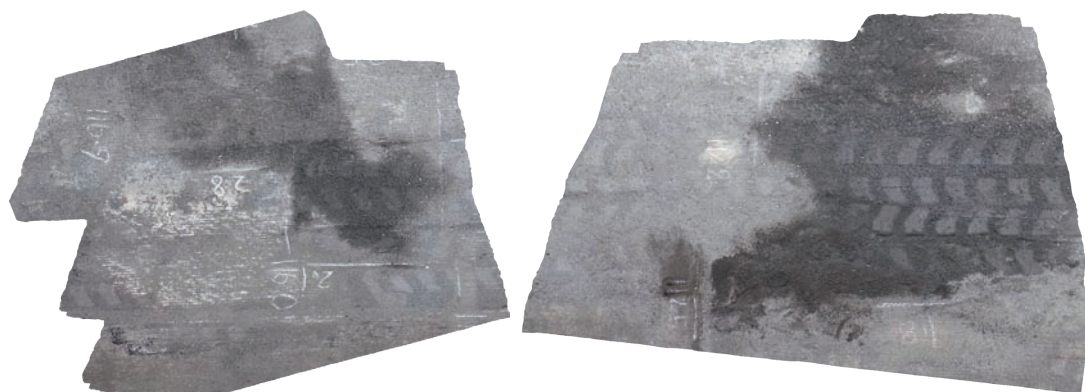


(b) タイムスライス断面3の床版上面写真

図-4.4.6 電磁波レーダのタイムスライス断面，床版上面写真，及び，床版上面の滞水の様子 (3)



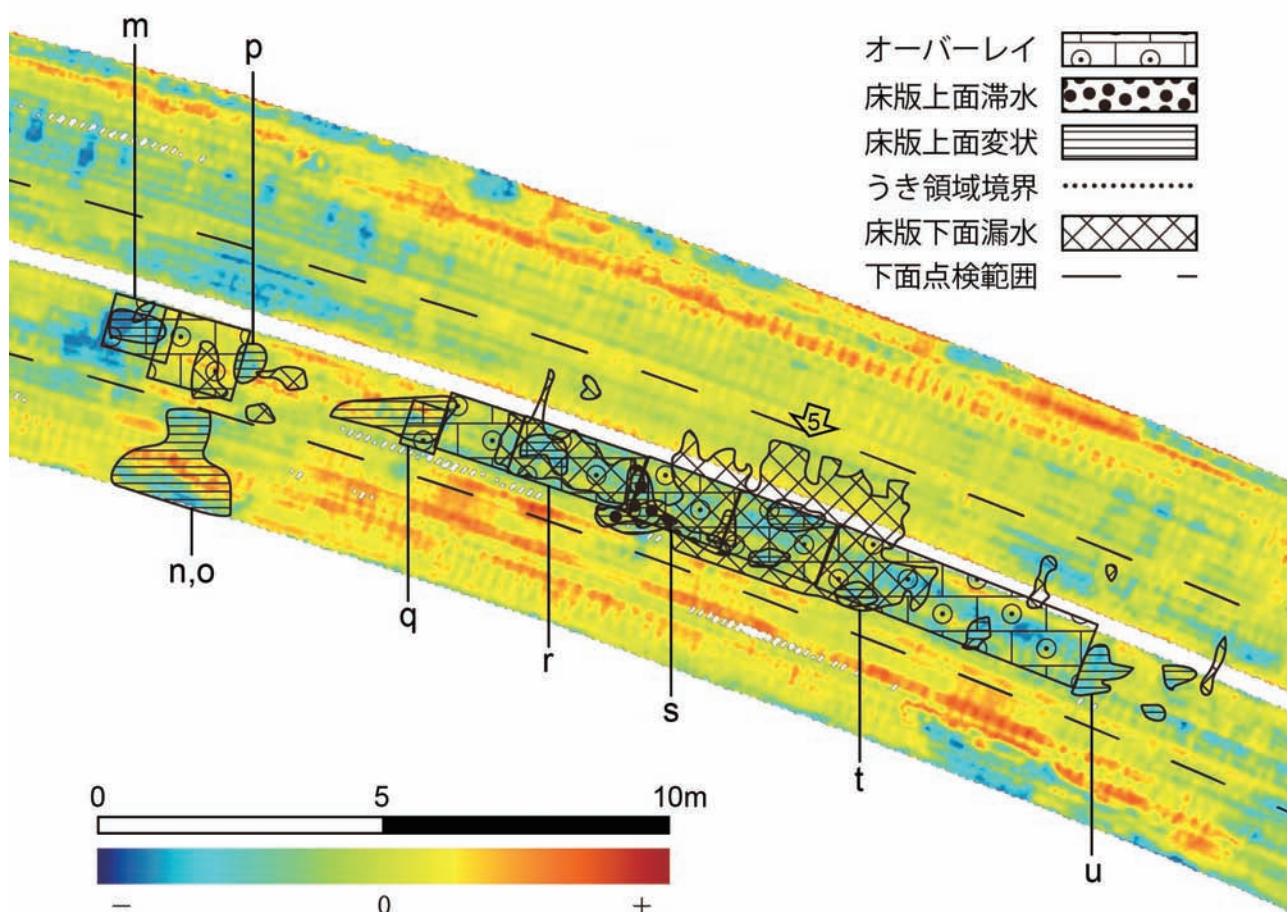
(c) タイムスライス断面 3 の床版上面のオルソ画像



(d) タイムスライス断面 3 の滞水の様子

図-4.4.6 電磁波レーダのタイムスライス断面、床版上面写真、及び、床版上面の滞水の様子 (3)

図-4.4.7 のタイムスライス断面 4 では、多数の劣化進行度の高い土砂化域が確認された。しかし、床版上面に滞水が確認された領域は一部にとどまる。ただし、図(d)では p, q の位置にも滞水が確認されているが、領域の形状が確定できなかったため図(a)中に反映されていない。一方で、これまで同様に、下面漏水の報告の位置とは一致していない場合が多い。レーダ断面と下面漏水箇所（矢印 5）の関係性も、床版上面付近の情報を多く含むタイムスライス断面を表示していることもあり、低い。しかし、点在する土砂化域は、電磁波レーダのタイムスライス断面において、振幅異常や鉄筋パターンの消失域に相当している。r, u の土砂化域の形状や、s の滞水域の形状と異常信号の形状は合致しており、レーダが詳細調査にも利用可能な高い検出能力を有することが示唆される。



(a) タイムスライス断面 4

(b)

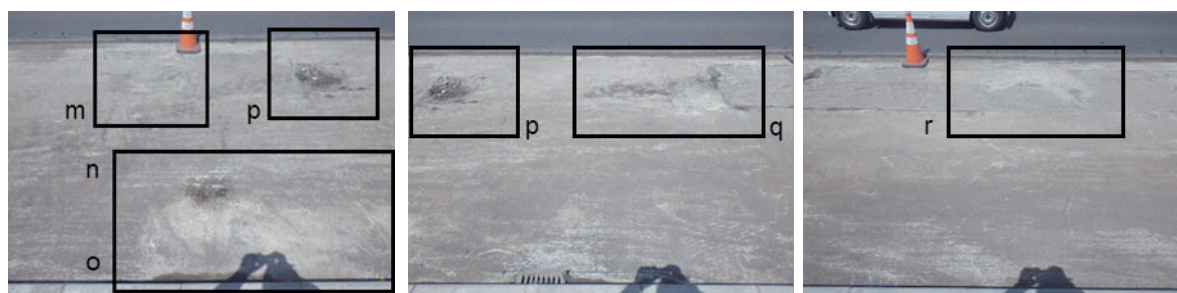
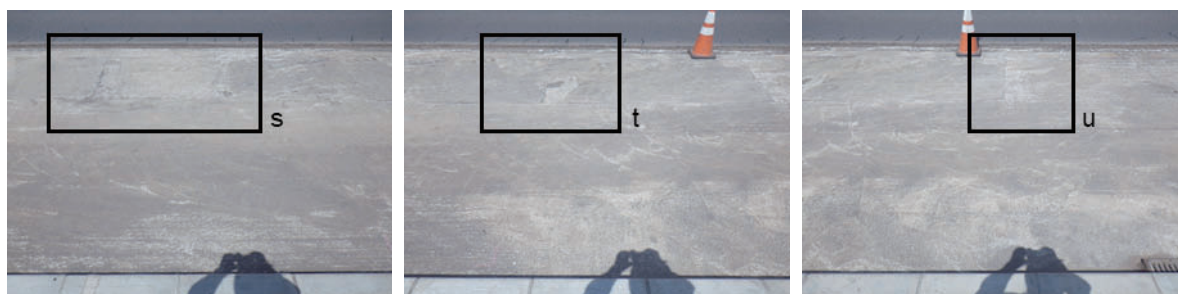
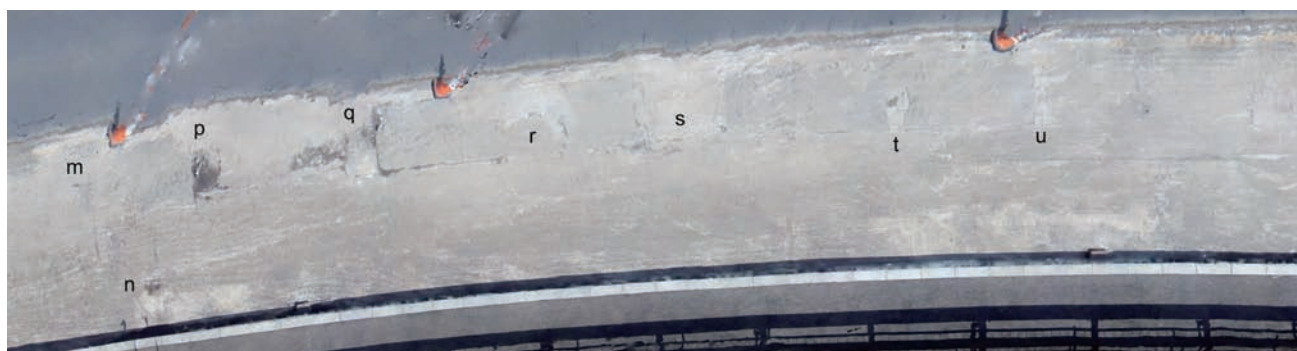


図-4.4.7 電磁波レーダのタイムスライス断面，床版上面写真，及び，床版上面の滞水の様子 (4)



(b) タイムスライス断面 4 の床版上面写真



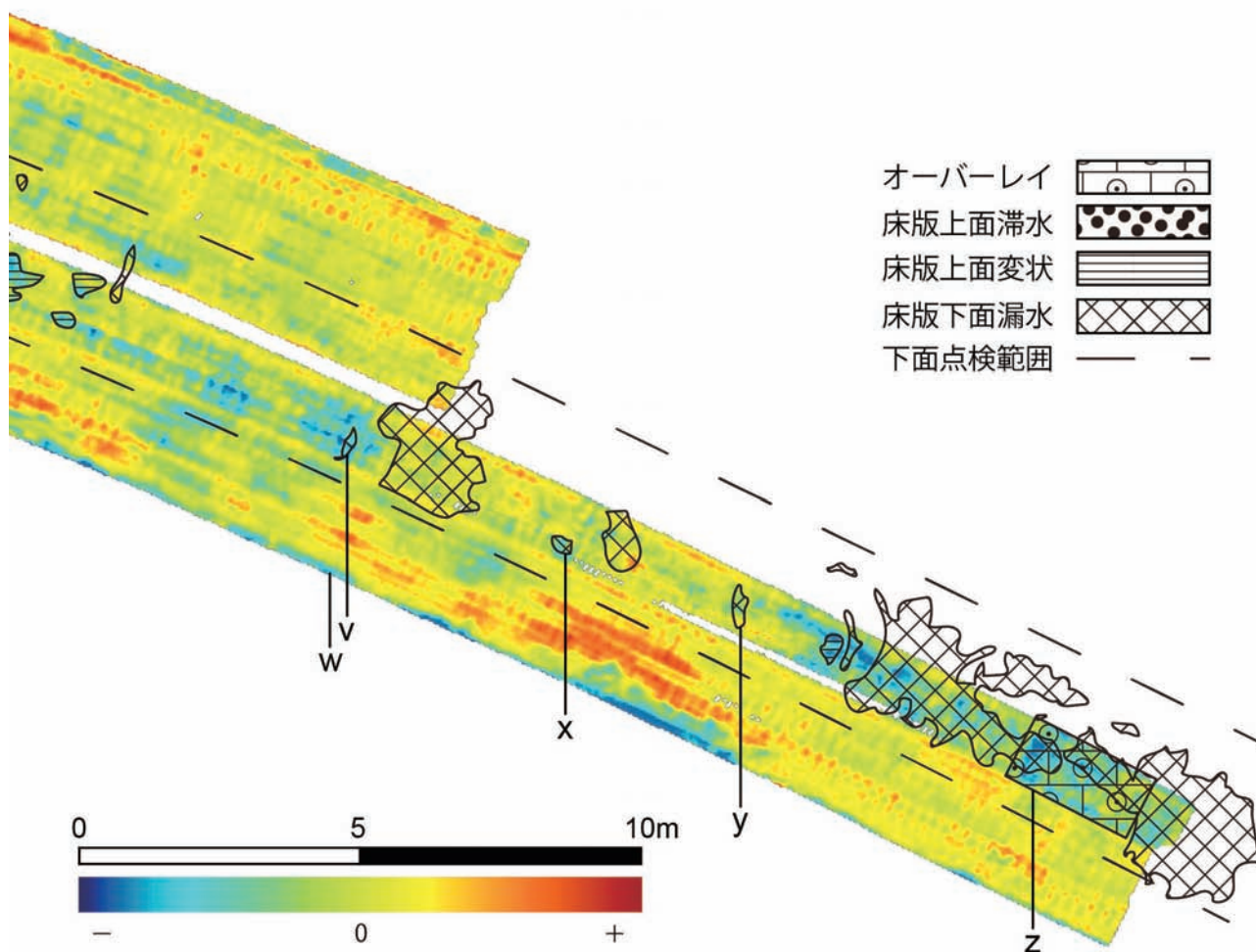
(c) タイムスライス断面 4 の床版上面のオルソ画像



(d) タイムスライス断面 4 の滞水の様子

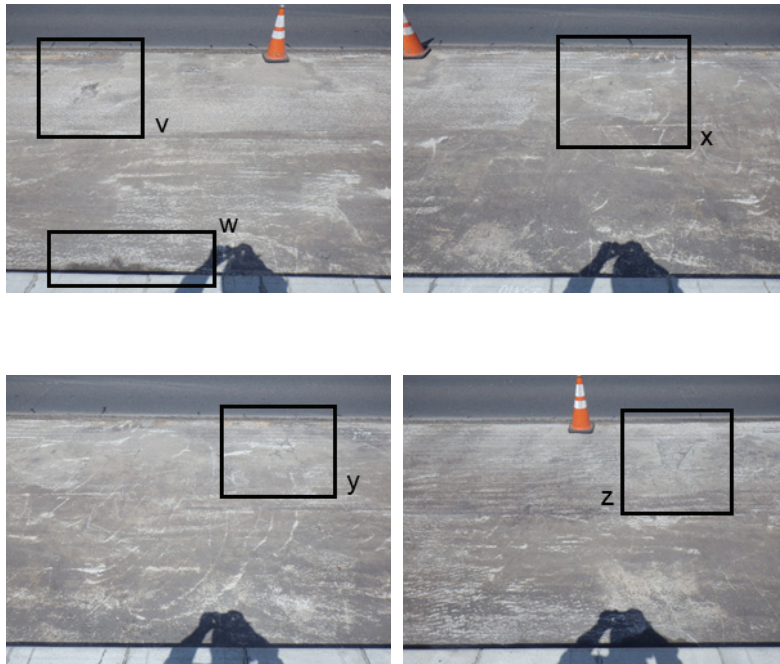
図-4.4.7 電磁波レーダのタイムスライス断面，床版上面写真，及び，床版上面の滞水の様子 (4)

図-4.4.8 のタイムスライス断面 5 では土砂化の判定箇所と滞水の報告がなかった．しかし，小規模な土砂化や過去には下面漏水が指摘された箇所が複数存在する．土砂化域は，電磁波レーダのタイムスライス断面において，振幅異常や鉄筋パターンの消失域に相当している．一方で，下面漏水との関連性は他の区間と同様に高くない．

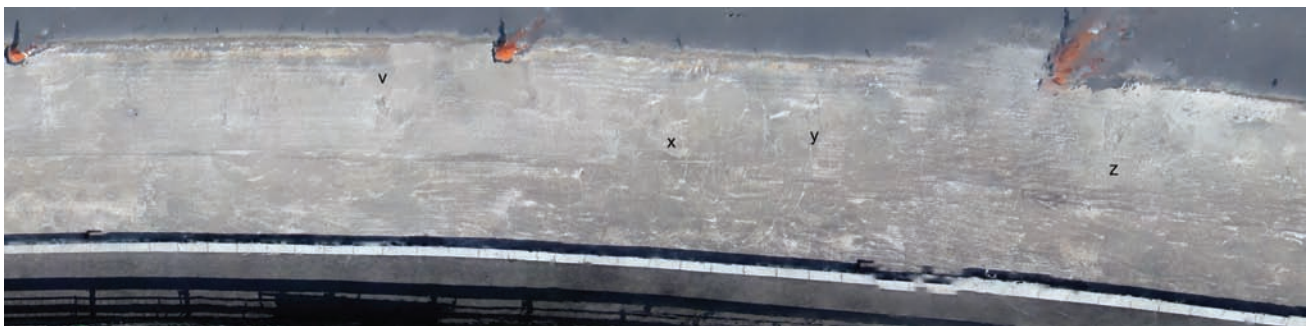


(a) タイムスライス断面 5

図-4.4.8 電磁波レーダのタイムスライス断面，及び，床版上面写真 (5)



(b) タイムスライス断面 5 の床版上面写真



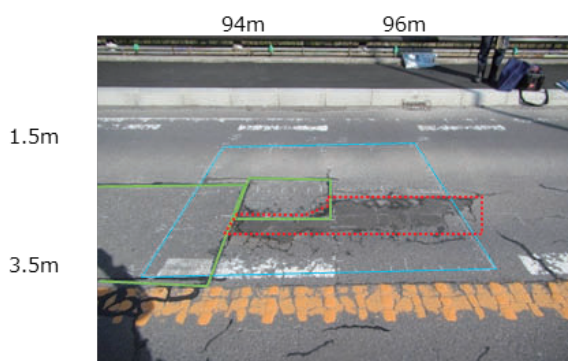
(c) タイムスライス断面 4 の床版上面のオルソ画像

図-4.4.8 電磁波レーダのタイムスライス断面，及び，床版上面写真 (5)

4.5 ハンディ式レーダの測定結果

調査に用いたハンディ式レーダ装置はシングルチャンネルレーダであるため1日で探査できる範囲が狭く実際の現場では実用的でないが、カート式レーダ装置に比べさらに詳細なデータが得られることから非常に高精度な画像解析が可能となる。Y橋の調査では、その詳細な画像データを用いて、カート式レーダ装置に比べその精度がどの程度向上するのか検証する。

ハンディ式電磁波レーダ調査より得られた結果と考察を示す。図-4.5.1～図-4.5.3に、舗装状況、舗装開削直後の滞水状況、レーダ画像、床版上面の損傷状況及び床版下面の状況を示す。カート式と同様、タイムスライス画像は損傷・滞水の疑いのある範囲は推定できるが、特定は困難である。



(a) 舗装状況



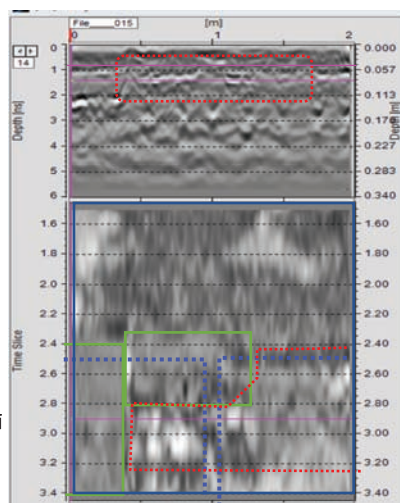
(b) 舗装開削直後の滞水状況

縦断面

スライス断面

タイムスライス
(床版上面)

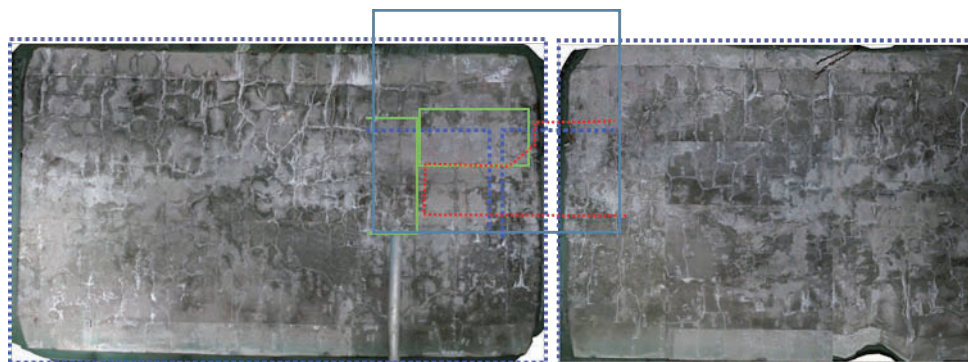
縦断面



(d) レーダ画像 (代表断面)



(c) 床版上面の損傷状況



(e) 床版下面の状況 (上面投影)

凡 例	
 	計測範囲
 	床版下面パネル
 	床版損傷範囲
 	過去補修コンクリート

図-4.5.1 箇所2-3 の状況とレーダ画像

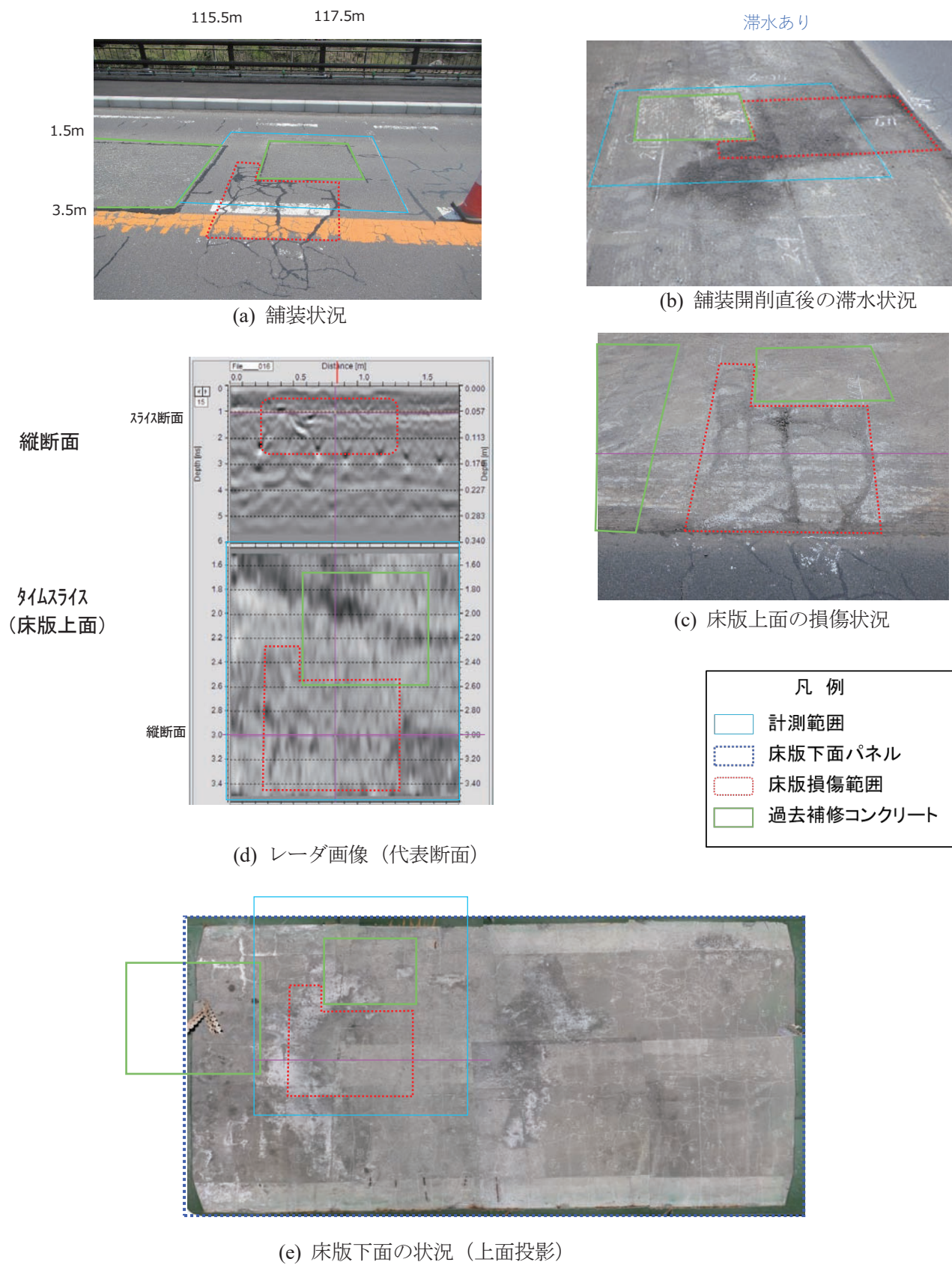


図-4.5.2 箇所 3-2 の状況とレーダ画像

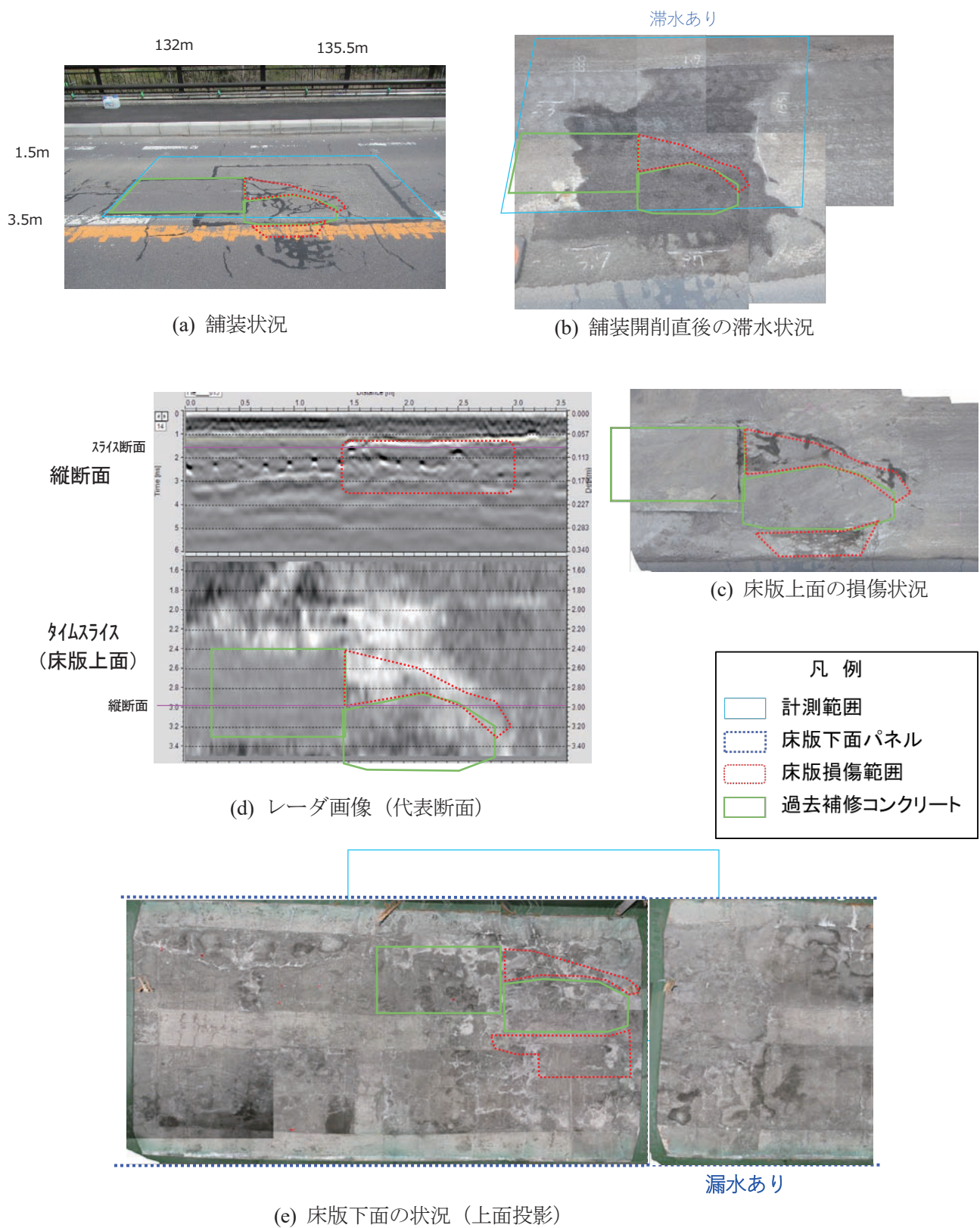
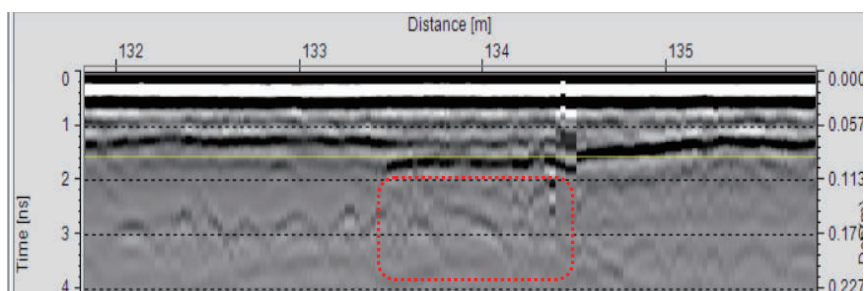
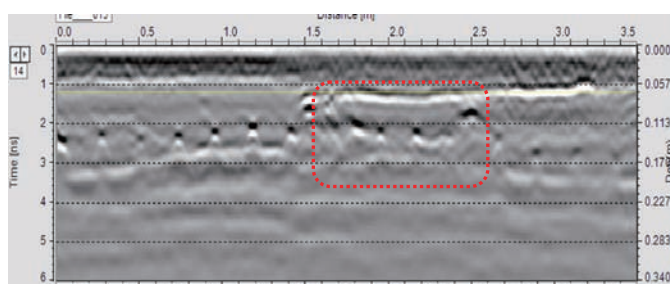


図-4.5.3 箇所3-5の状況とレーダ画像

図-4.5.4 にカート式（高周波）とハンディレーダの同一箇所のレーダ画像を示す．レーダ縦断面図では劣化箇所と床版上面付近のコンタールの連続性がなく乱れの度合いが大きい範囲が一致している点もカート式と同様であるが，探査ピッチが細かいことから，画像データも精細であり，鉄筋も1本毎に識別できる．カート式やハンディ式での画像データを分析して特徴的な画像を分類することで，損傷種別を特定できる可能性がある．



(a) カート式レーダ画像



(b) ハンディ式レーダ画像

図-4.5.4 カート式とハンディ式のレーダ画像（ほぼ同一箇所）

5. Y 橋床版の劣化過程と原因の推定

5.1 各調査結果の平面上の位置出し — 特徴的な箇所の外観とレーダの関係より

得られた複数の項目の調査結果は、調査日、撮影日、施工段階、調査者、位置出し方法がそれぞれ異なる煩雑な情報である。劣化過程や原因を考察するためには、少なくとも各調査結果の位置出し、データ間の位置合わせが重要である。あらかじめ、それらの結果を床版に平行な平面上で重ね合わせることが有意である。このことから、本節ではまず、床版の漏水状況が顕著に異なる特徴的なパネルに着目して、各調査結果を重ね合わせて比較検討する。その検討の中で、各情報の位置出し方法の妥当性を確認する。

図-5.1.1 に、比較対象とした床版パネルの位置を示す。また図-5.1.2 に供用下の路面状況を示す。P2 から P3 側に 2 パネル目（パネル 3-0202）と 3 パネル目（パネル 3-0203）は、鋼桁間の隣り合う床版パネルであるが、床版下面の漏水状況が対照的であること、これらのパネルの近くに特徴的な補修箇所があり、レーダの測定結果にも表れていて、位置の特定が比較的明確であること、床版下面の含水状態を測定していたことから、本節の対象とした。

図-5.1.3 に、パネル 3-0203 における舗装開削前の舗装路面の状況、舗装開削後の床版上面の状況、及び床版下面の状況をそれぞれ示す。パネル 3-0203 では、P3 側の約半分の範囲で床版コンクリートの上面補修が行われていた。また、残りの P2 側の範囲で床版上面のコンクリートの浮きが生じていた。床版コンクリートの補修箇所の上面は舗装の部分打換えの跡が見られ、再度、舗装の部分打換えが行われていた。また、床版コンクリートの浮きが認められた箇所では、舗装のひび割れが見られた。それらの床版下面には、ひび割れに沿った遊離石灰が見られ、床版コンクリートに多量の水が浸透していた時期があったと推察される。

同様に、パネル 3-0202 における舗装開削前の舗装路面の状況、舗装開削後の床版上面の状況、及び床版下面の状況を図-5.1.4 にそれぞれ示す。パネル 3-0202 では、パネル 3-0203 の浮きが見られた箇所と同様の舗装路面のひび割れが見られ、床版上面のコンクリートの浮きも認められた。床版下面には、ひび割れが見られたが、漏水の痕跡が見られず、パネル 3-0203 の漏水状況と明確な違いが見られた。

図-5.1.5 に、路面画像（同図(a)）、車載式レーダ画像（同図(b)）、カート式レーダ画像（同図(c)）とパネル 3-0203 の位置関係を確認した際の対比図を参考として示す。また、特徴的な舗装の部分補修の範囲も破線で示す。同図(a)、(b)は A1 からの距離標によってパネルの位置出しをしている。また、路面画像の幅員方向の幅は、同図(a)に示すとおり、白線間の距離の実測値に基づき調整した。同図(c)は、GNSS に基づいていることから、実際と同様に平面曲線のまま示しているが、ここではパネルの大きさの範囲では直線と見なせると考え、簡単にそのまま同図(a)、(b)と対比して示した。パネル 3-0203 の位置出しでは、A1 からの距離標及び GNSS による座標を参照した。同図の右側の舗装の補修範囲が特徴的であり、図(c)の位置出しが概ね妥当であることが分かる。

図-5.1.6～8 に、パネル 3-0203 における路面画像、車載式レーダ画像、カート式レーダ画像及び 2014 年における床版下面のひび割れ図と漏水状況を示す。各図中には、パネル 3-0203 の範囲を示すとともに、舗装の部分補修の範囲を示す。レーダ画像は、いずれも舗装下、床版上面を想定したタイムスライスで示す。同パ

ネルでは、2014 年のひび割れ調査時に、広範囲にわたって構造的なひび割れが見られるとともに、既にひび割れに沿った遊離石灰や漏水も広範囲に見られていた。同様に、図-5.1.9～11 に、パネル 3-0202 における路面画像、車載式レーダ画像、カート式レーダ画像及び 2014 年における床版下面のひび割れ図と漏水状況を示す。パネル 3-0202 では、3-0203 と同様に構造的なものと考えられるひび割れがパネル全面に生じていたが、前述のとおりパネル 3-0203 のすぐ隣であるにもかかわらず、床版下面に遊離石灰等の漏水の痕跡は見られなかった。

図-5.1.12～13 に、パネル 3-0203 の下面における含水状態の測定結果を水分計による D 値で示す。外観でも漏水が著しいことが分かるが、水分計でも値は高かった。ただし、図-5.1.8 の 2014 年のひび割れ図において、図の左下の一部に漏水が見られなかった範囲があり、2019 年時点の水分計の測定結果は、2014 年調査時と概ね同様に、その範囲（図-5.1.13(a)の左下）で水分が少ない傾向であった。2014 年の調査以降、2015 年に床版上面の補修、舗装の部分打換えが行われ、その後、含水状態が改善されたかは確認できていないが、2019 年時点での含水状態は 2014 年調査時と概ね同様の傾向であった。

同様に、図-5.1.14 に、パネル 3-0202 の下面における含水状態の測定結果を D 値で示す。パネル 3-0203 とは対照的に、床版下面に漏水の痕跡が見られず、乾燥した雰囲気であり、水分計でも D 値が低く、明らかにコンクリートが乾燥していたことがわかる。

図-5.1.15～17 に、舗装を剥いだ時の床版上面の湿潤範囲 W3、W4 を（位置は前掲図-4.1.21）、前掲図-5.1.6～8 に示した図にそれぞれ重ねて示す。湿潤範囲 W3 の位置は、近傍の上り側路面の舗装補修跡や排水柵の位置との関係などからも、概ね妥当であると考えられる。この床版上面の湿潤範囲 W3 は、2014 年の床版下面の漏水範囲と概ね合致する傾向が見られ、また水分計の測定結果とも一致する傾向が見られた。しかし、湿潤範囲 W3 のすぐ右側での水分計の測定結果は、床版上面の状態と大きく異なり、水分がかなり多い値を示していた。このことは、コンクリートの補修材の上面には水分が認められなかったが、補修材の下面（補修材と既設床版コンクリートの間）に水分が存在していたことを示唆していると考えられる。

図-5.1.16 の結果より、湿潤範囲 W3 は、カート式レーダの青い箇所と概ね合致していた。一方、湿潤範囲 W4 は、カート式レーダの赤い箇所と概ね合致していた。ただし、実際は湿潤範囲 W4 に接する概ね正方形に近い形状の舗装補修跡に一致すると考えられる濃い青の箇所に対して、湿潤範囲 W4 が P2 側に 500 mm 程度ずれていた。湿潤範囲 W4 は、図-5.1.18 と見比べると、やや軸方向に圧縮されたイメージであり、位置も近傍の上り側路面の舗装補修跡との位置関係からずれが生じていたと考えられる。このことから、図-5.1.18 を参考に、湿潤範囲 W4 の形状と位置を精査し直した。図-5.1.15～17 に、修正後の湿潤範囲を破線で示した。本章の検討結果への影響は小さいが、レーダの結果との比較検証に使用する場合にそれぞれの位置情報は重要である。Y 橋のように橋長が 100m を超える場合は、A1 からの距離を計測するだけでなく、途中で基準点を設けたり、GNSS 等、他の測定方法も併用するなどして、湿潤範囲などの位置の測定精度を確保する必要があることが分かった。

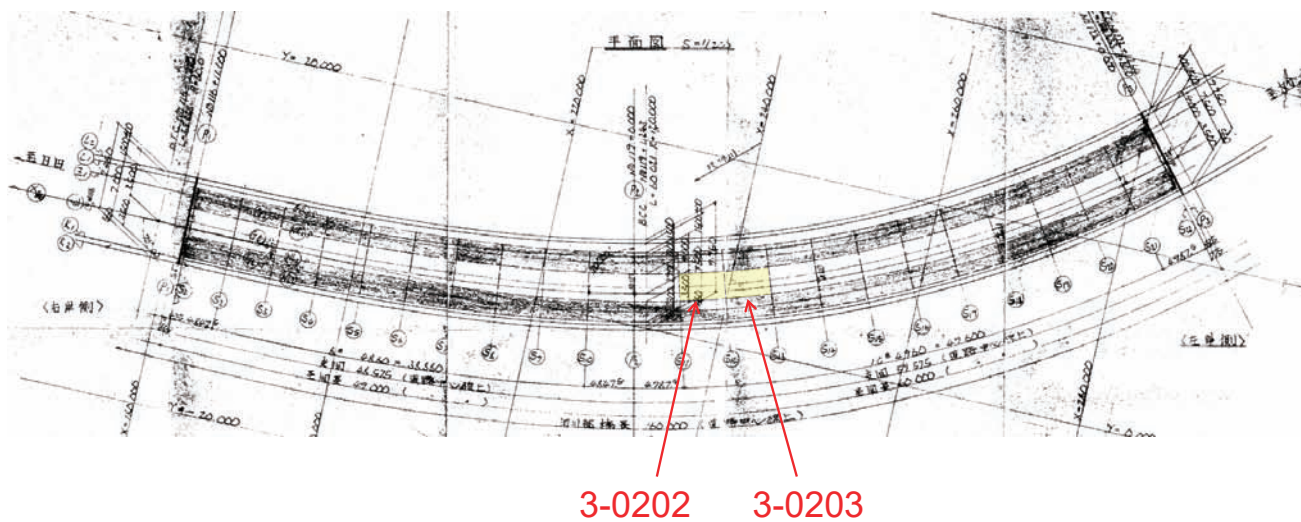


図-5.1.1 比較対象とした床版パネル



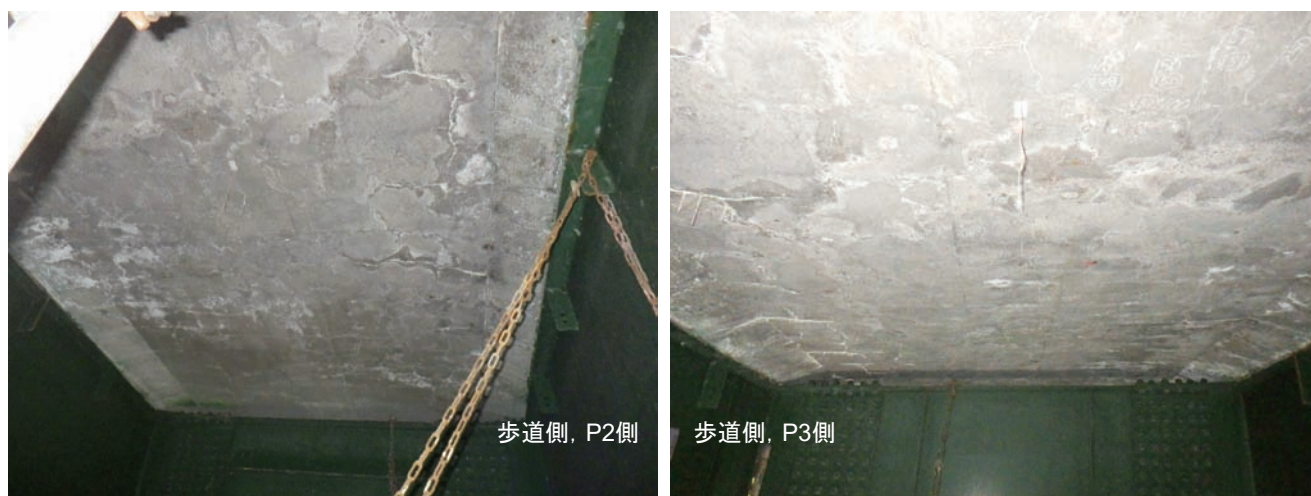
図-5.1.2 比較対象とした床版パネルの路面状況



(a) 舗装路面



(b) 床版上面



(c) 床版下面

図-5.1.3 パネル 3-0203 (床版補修部) の舗装開削前後の状況



(a) 舗装路面



(b) 床版上面



(c) 床版下面

図-5.1.4 パネル 3-0202（床版上面浮き部）の舗装開削前後の状況

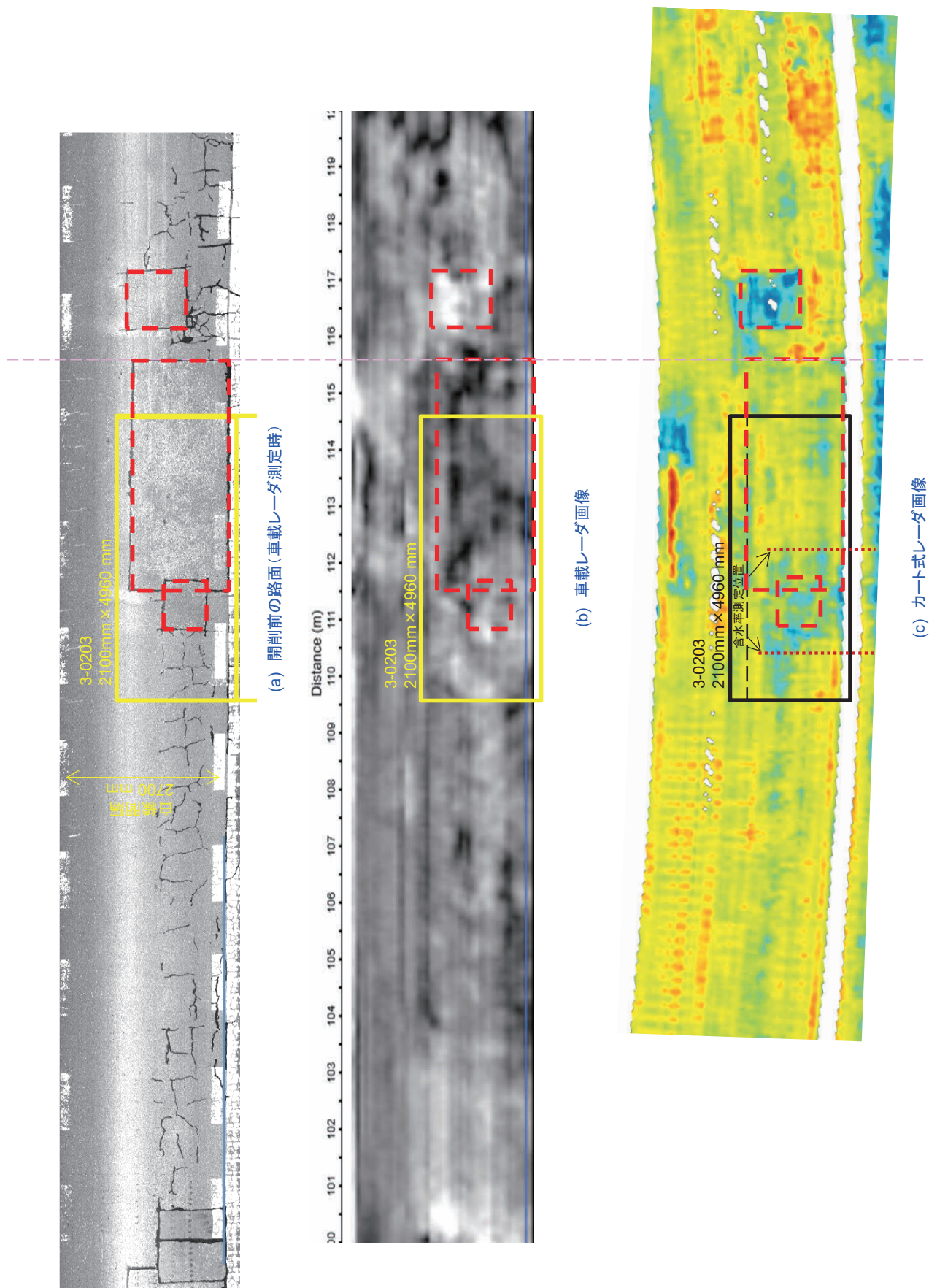
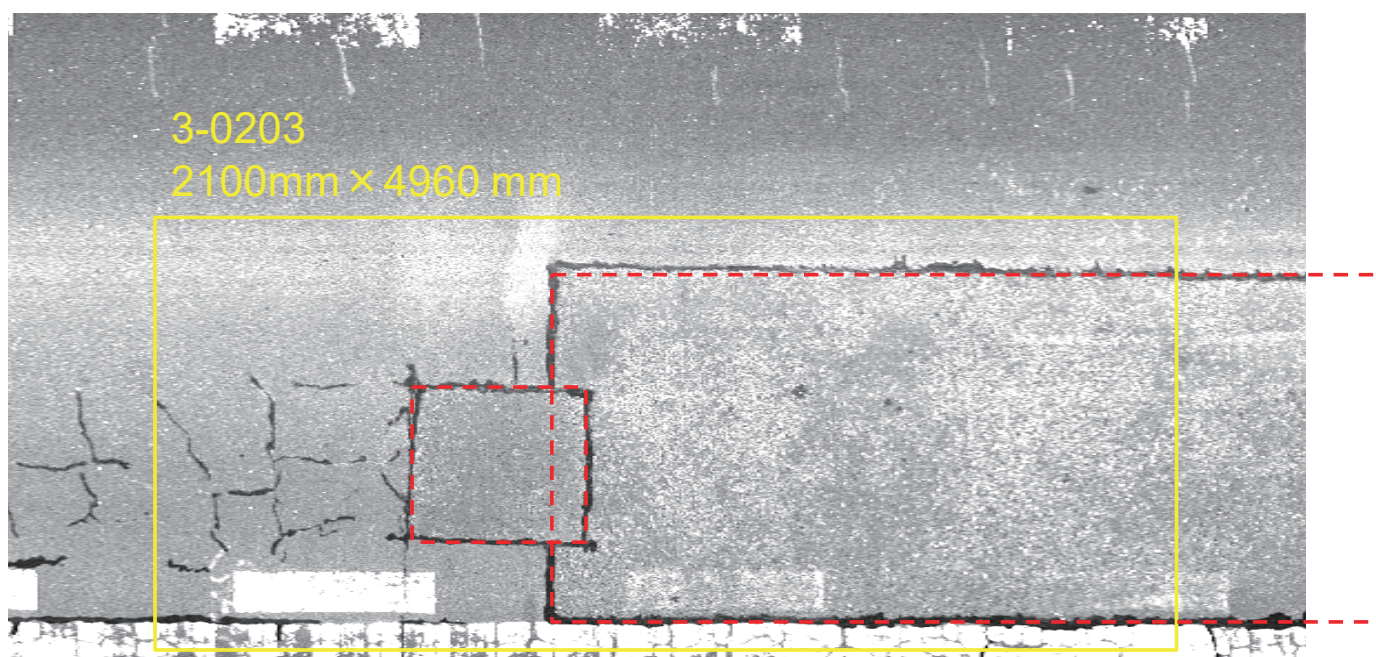
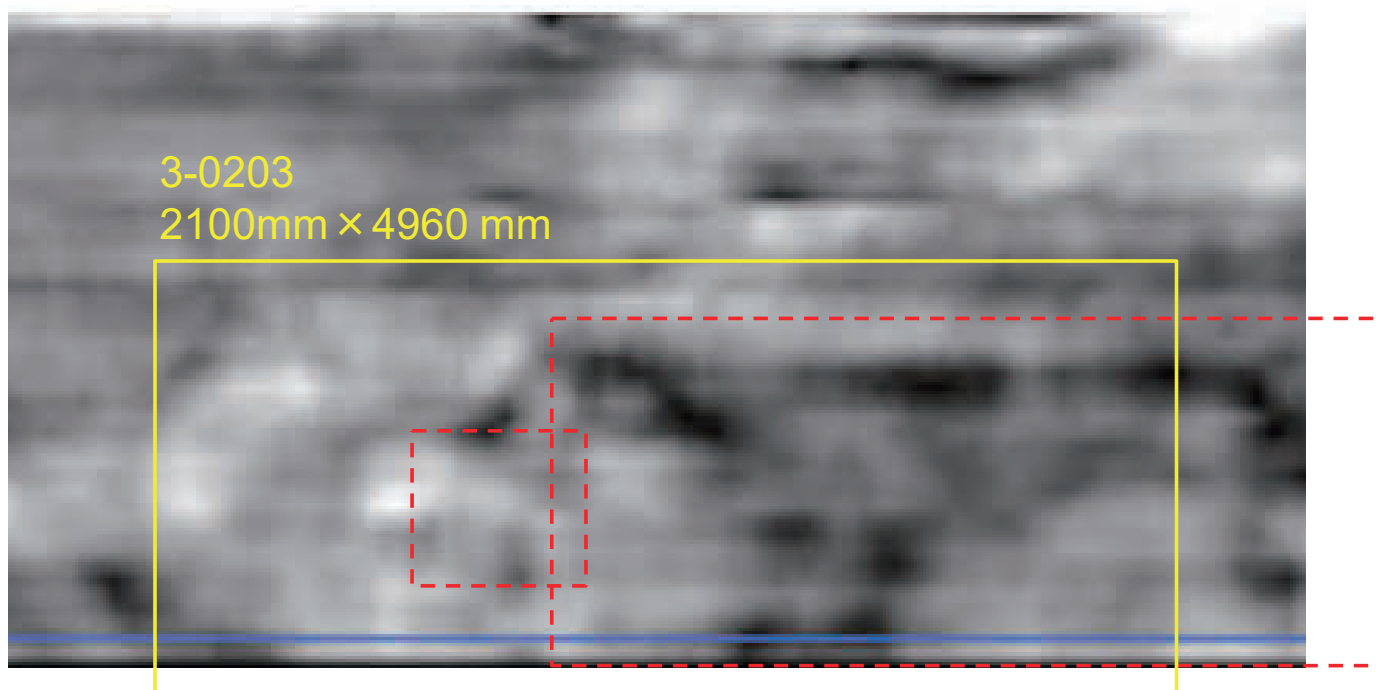


図-5.1.5 レーダ測定位置の確認 (パネル 3-0203)



(a) 路面画像



(b) レーダ画像 (タイムスライス)

図-5.1.6 車載式レーダによるパネル 3-0203 (床版補修部) の測定結果

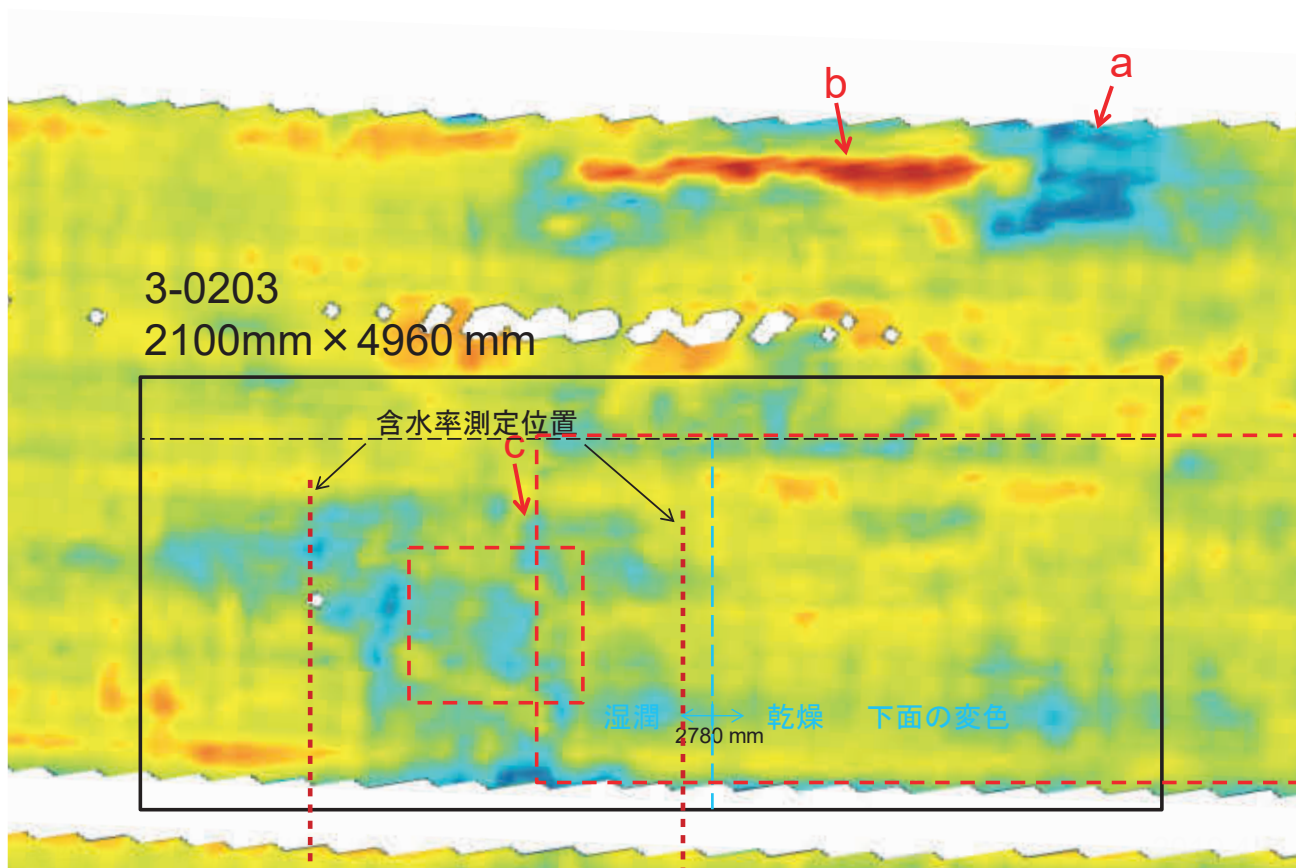


図-5.1.7 カート式レーダによるパネル 3-0203（床版補修部）の測定結果

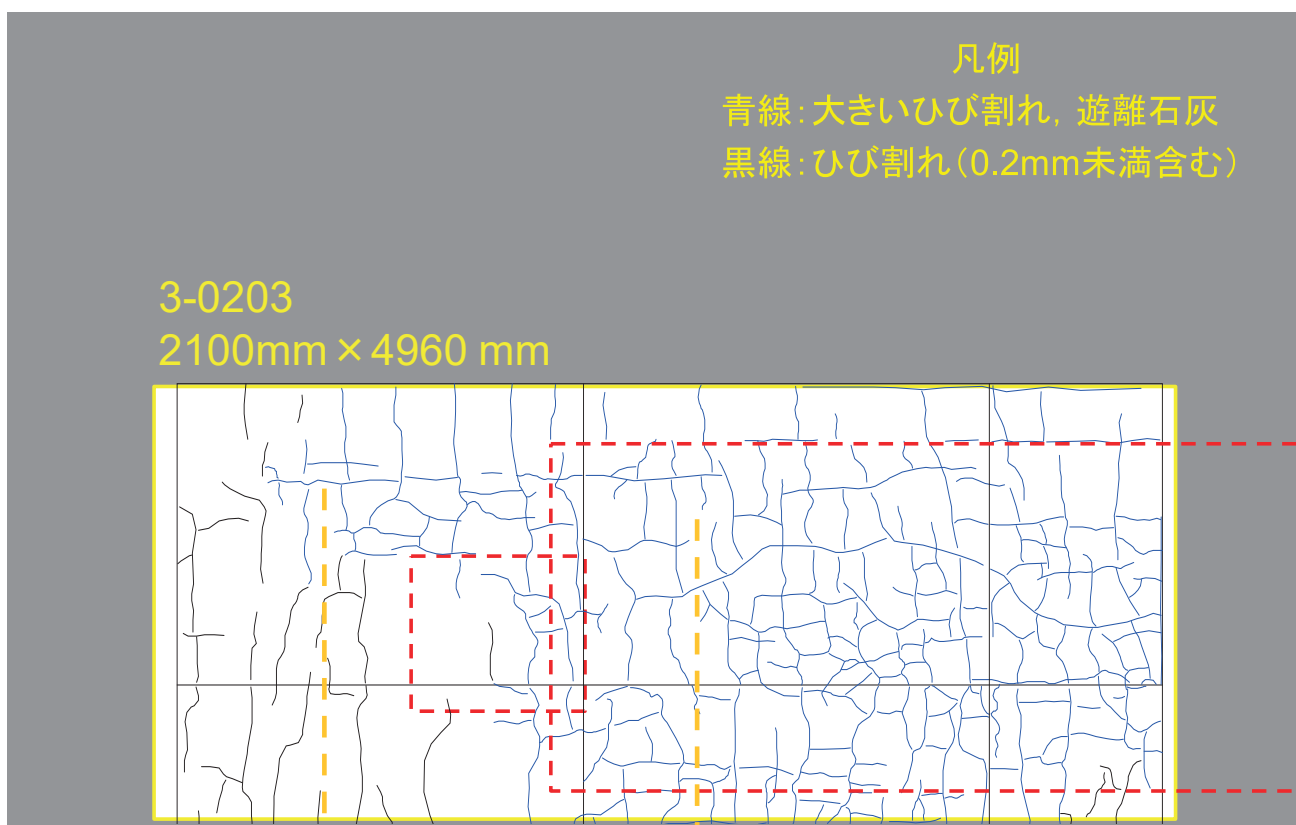
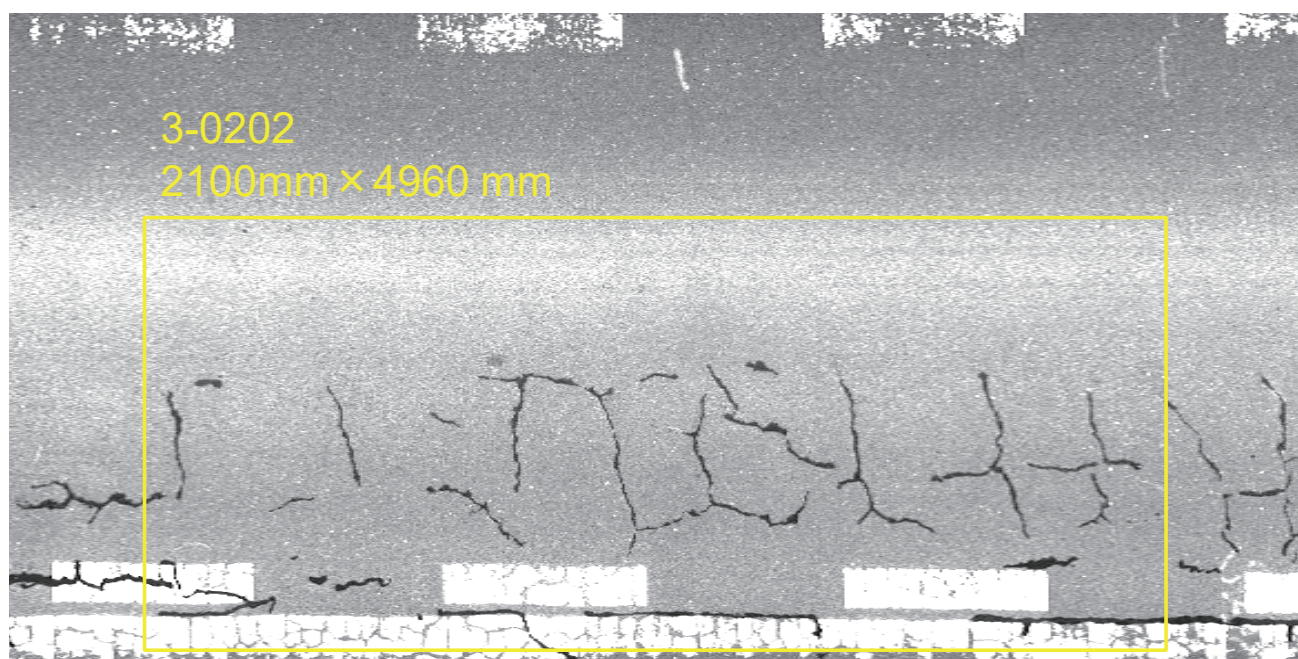
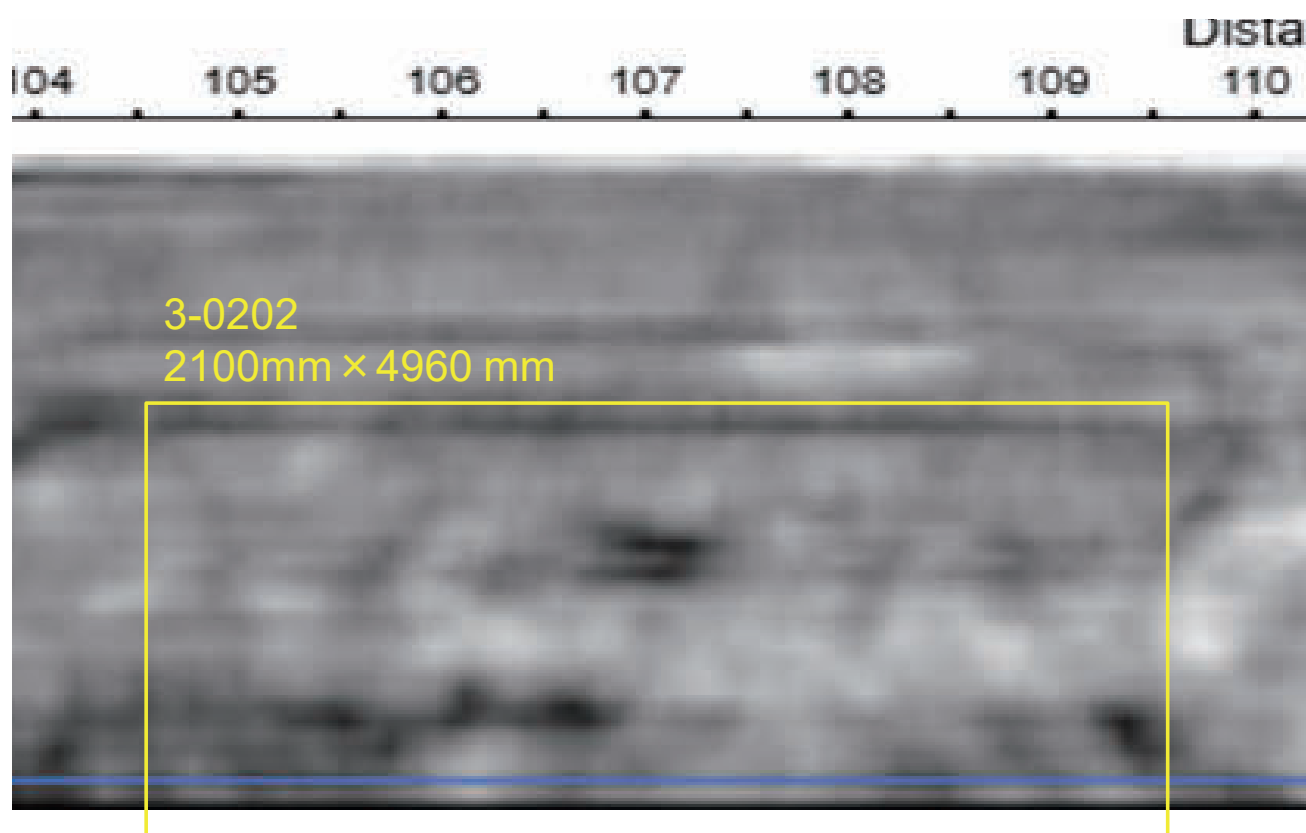


図-5.1.8 パネル3-0203（床版補修部）の床版下面のひび割れ図と漏水状況（2014年調査時）



(a) 路面画像



(b) レーダ画像（タイムスライス）

図-5.1.9 車載式レーダによるパネル 3-0202（床版上面浮き部）の測定結果

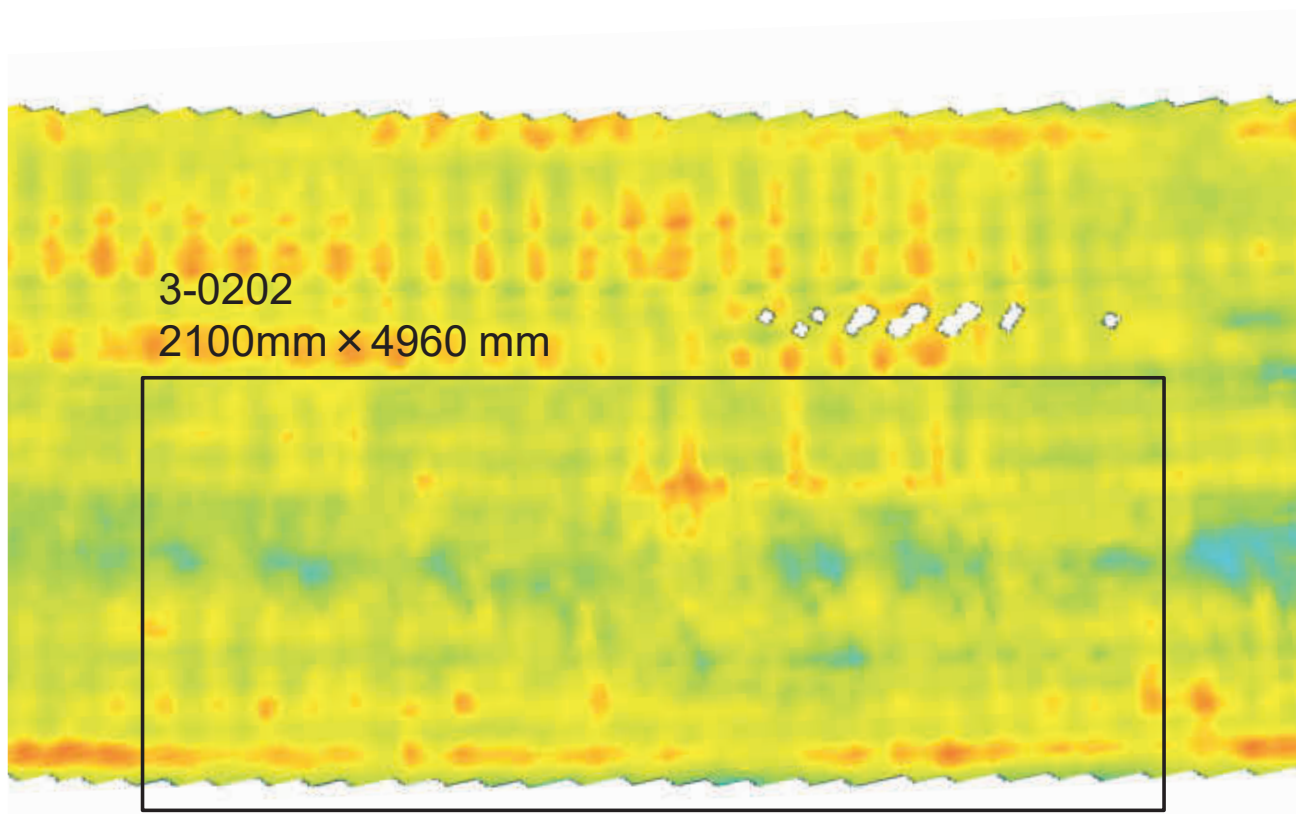


図-5.1.10 カート式レーダによるパネル 3-0202（床版上面浮き部）の測定結果

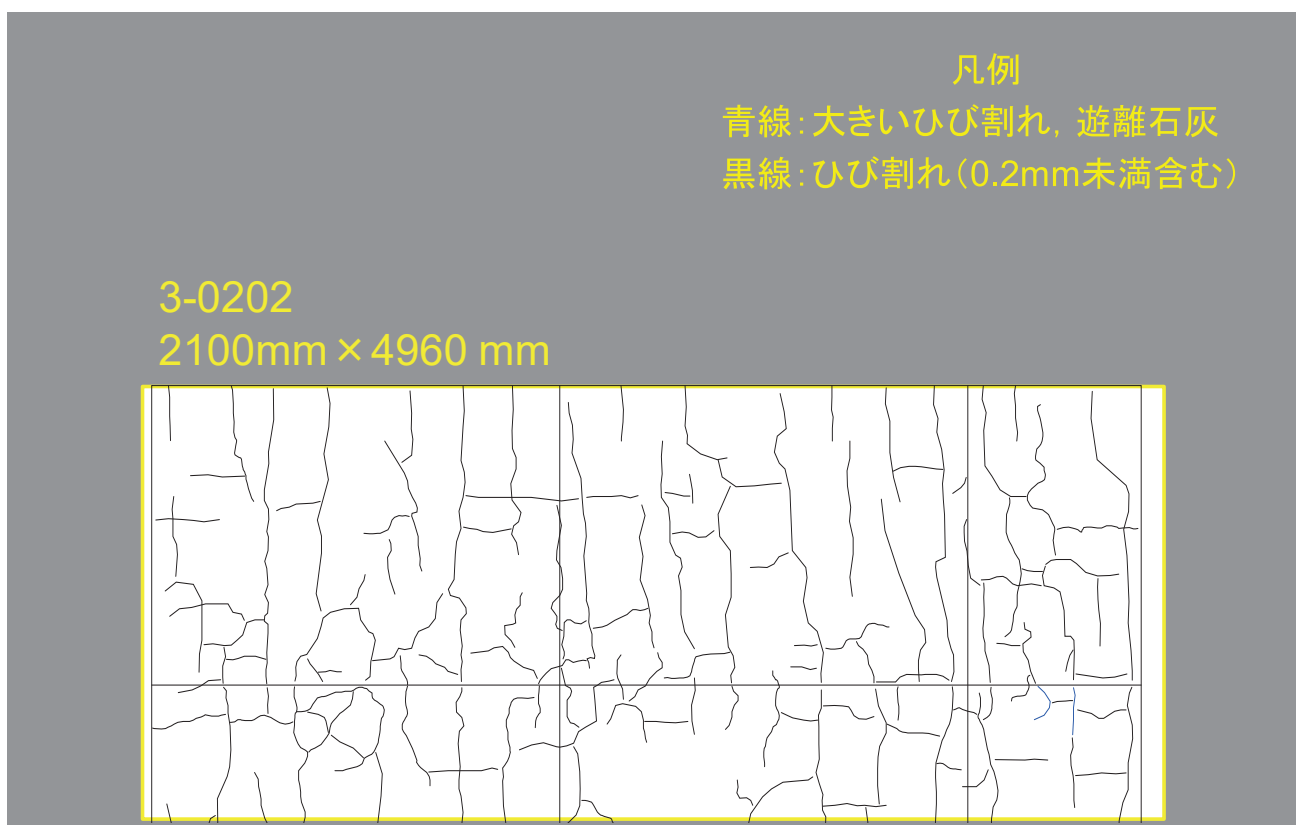
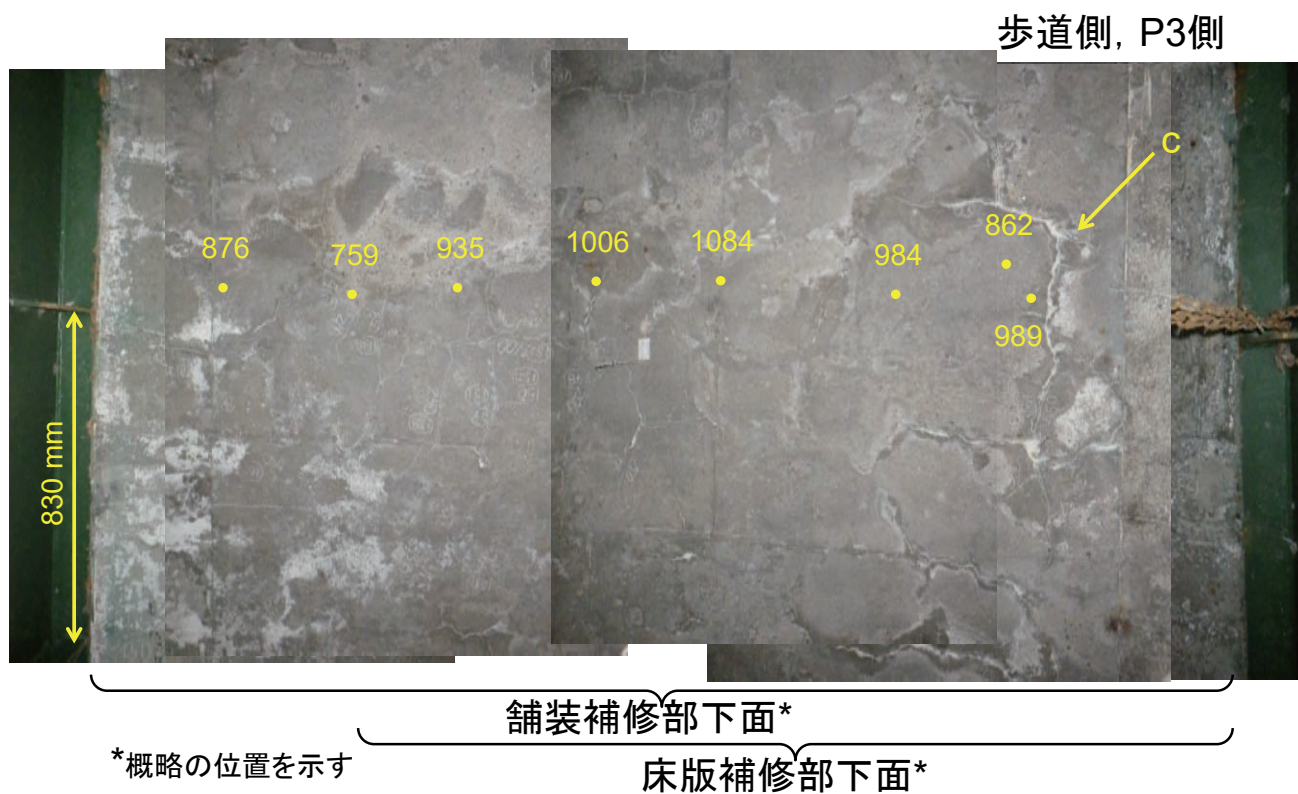
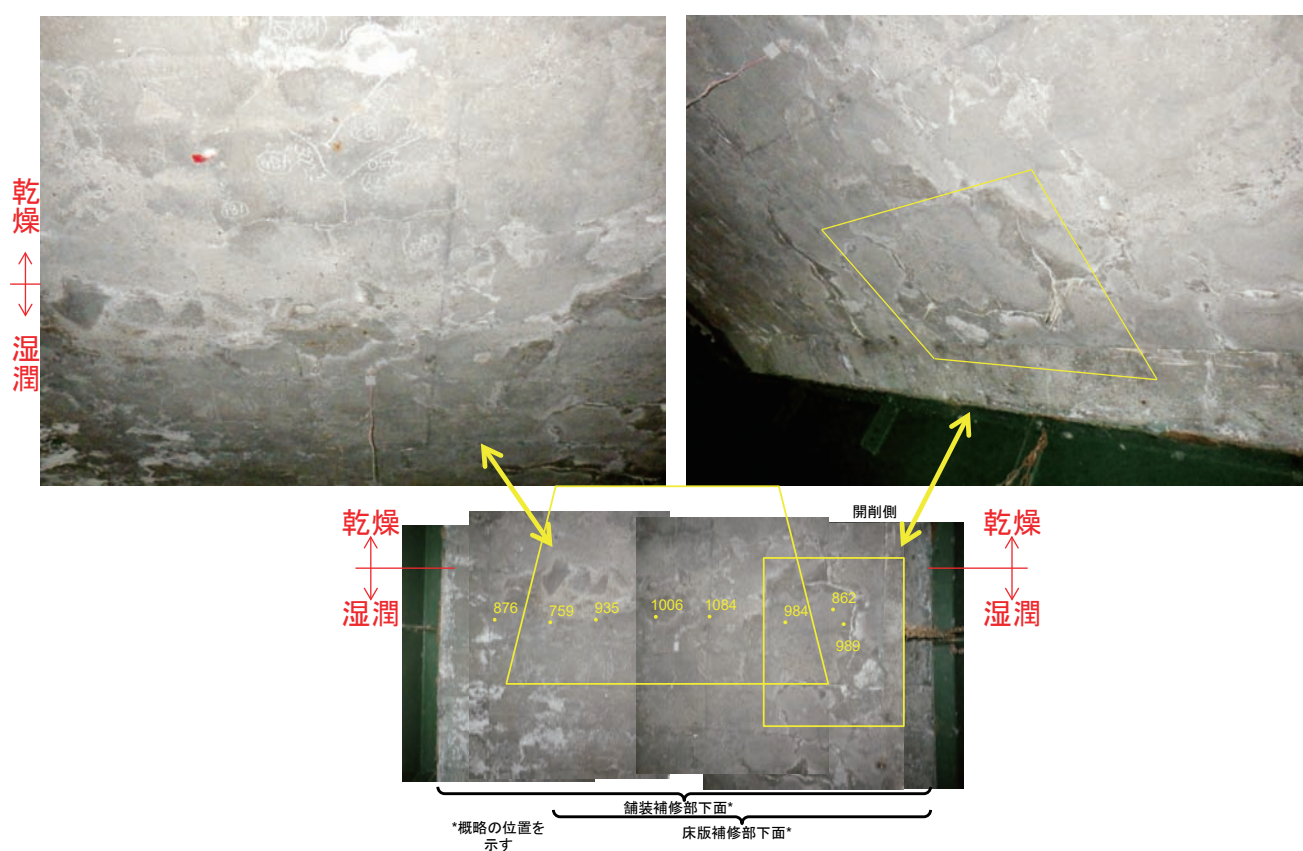


図-5.1.11 パネル 3-0202（床版上面浮き部）の床版下面のひび割れ図と漏水状況（2014 年調査時）

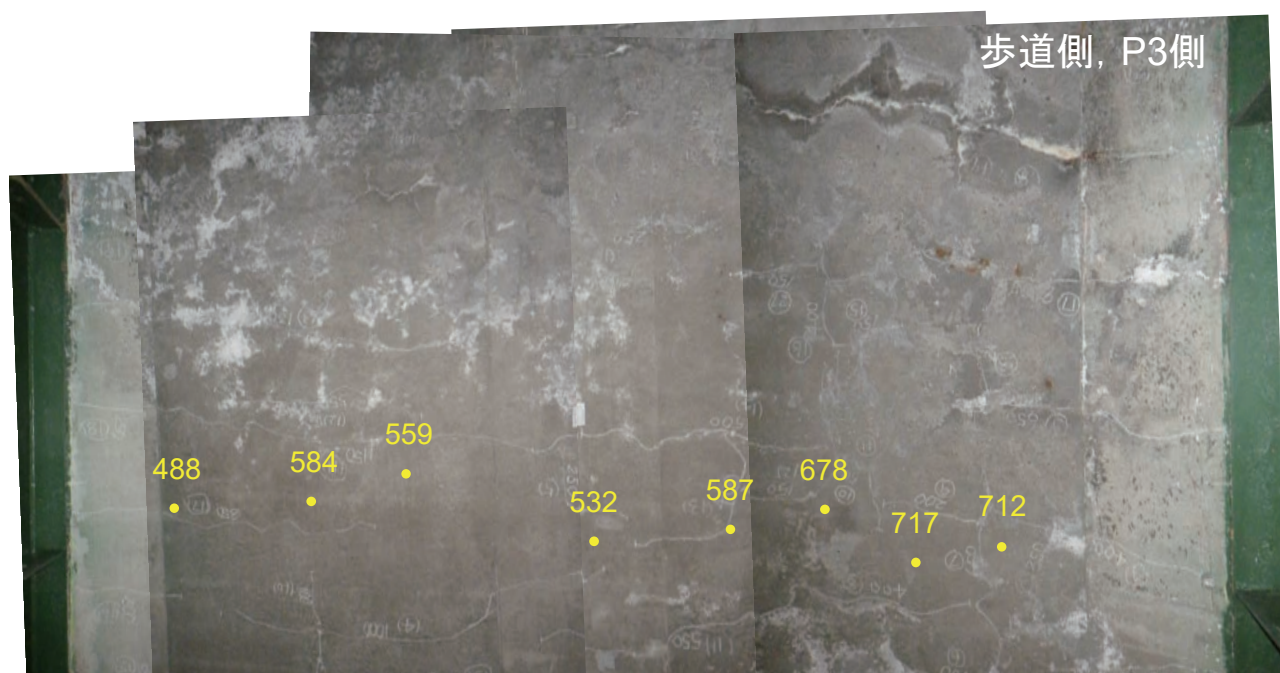


(a) 下から見上げた状況（図中の数値は水分計による D 値の実測値を示す）



(b) 測定箇所付近の状況（下図は図(a)の縮小図）

図-5.1.12 パネル 3-0203（床版補修部）の床版下面の含水状態（P2 から約 13m）

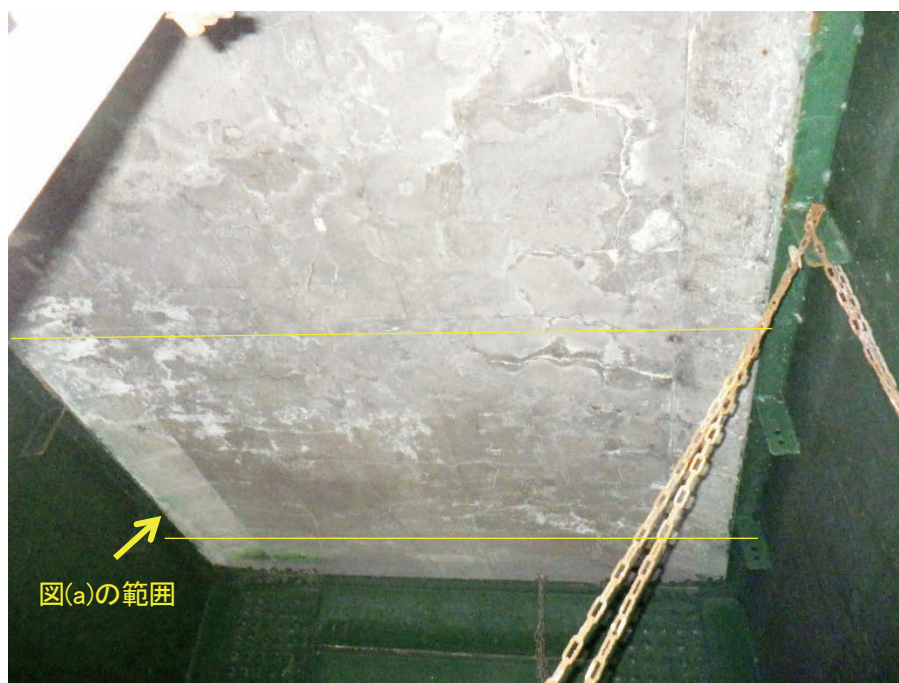


舗装補修部下面*

*概略の位置を示す

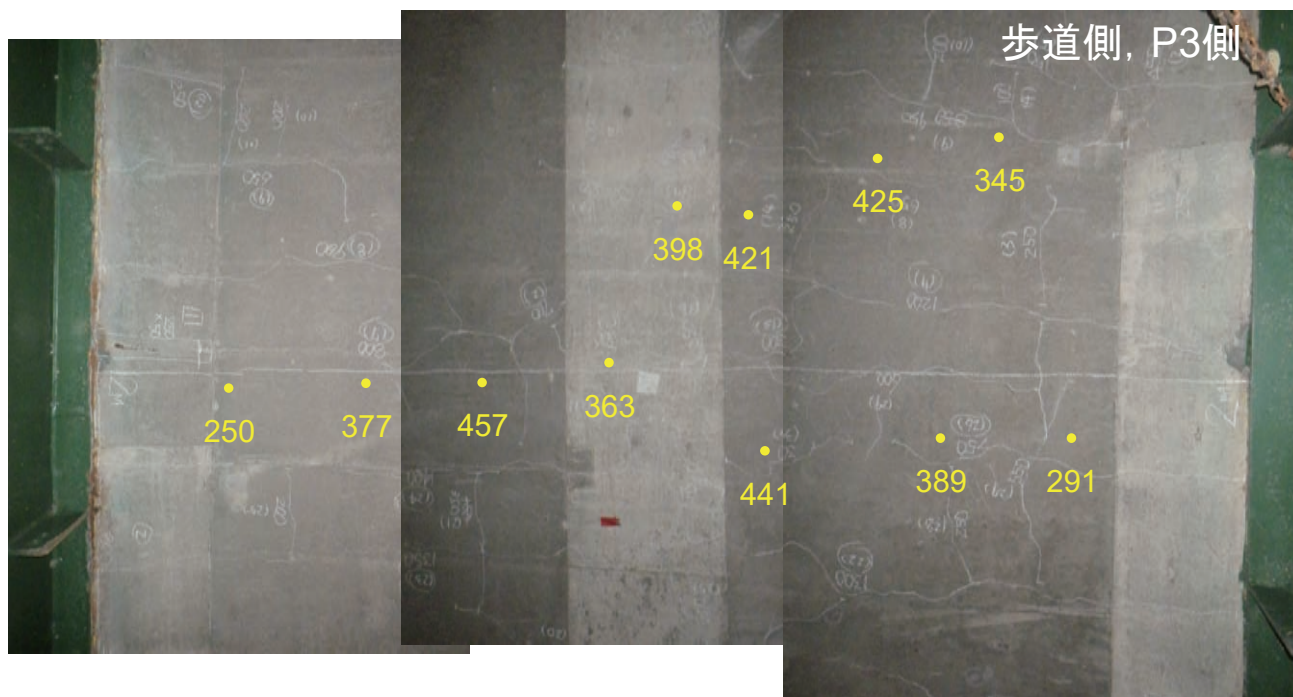
床版補修部下面*

(a) 下から見上げた状況（図中の数値は水分計による D 値の実測値を示す）



(b) 測定箇所付近の状況

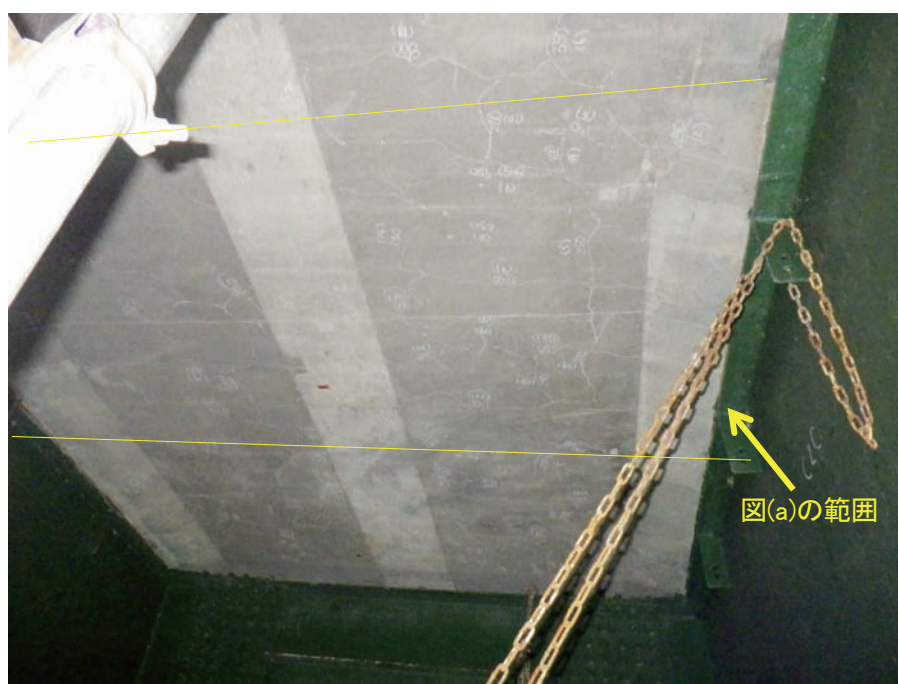
図-5.1.13 パネル 3-0203（床版補修部）の床版下面の含水状態（P2 から約 11m）



*概略の位置を示す

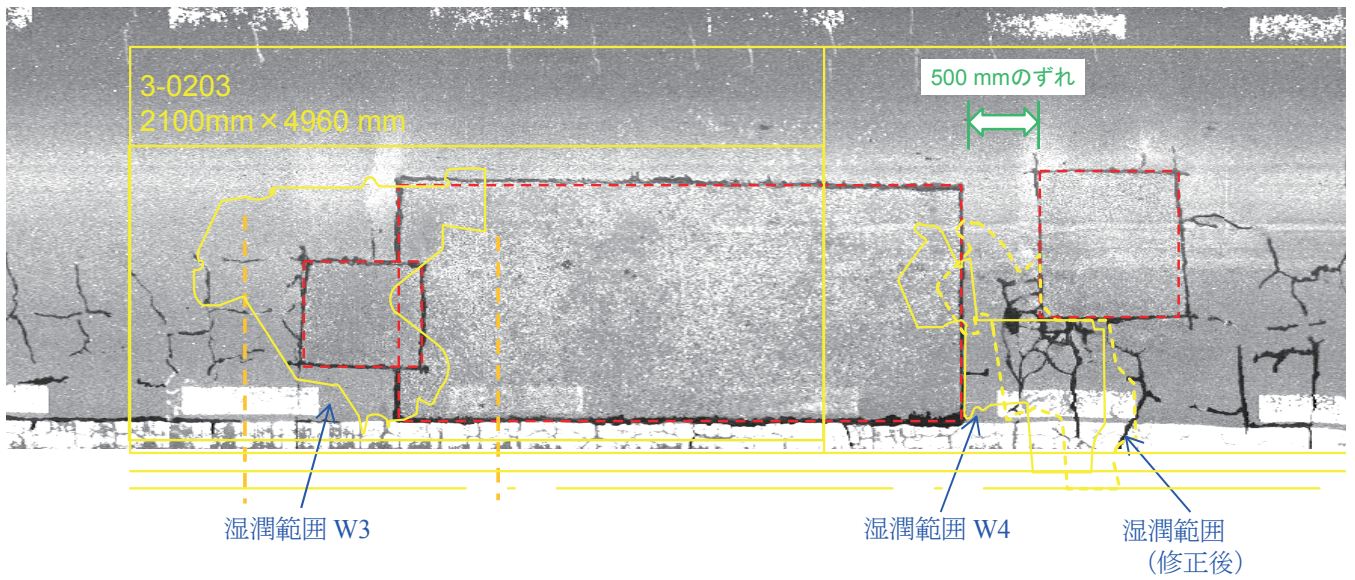
路面浮き部下面*

(a) 下から見上げた状況 (図中の数値は水分計による D 値の実測値を示す)

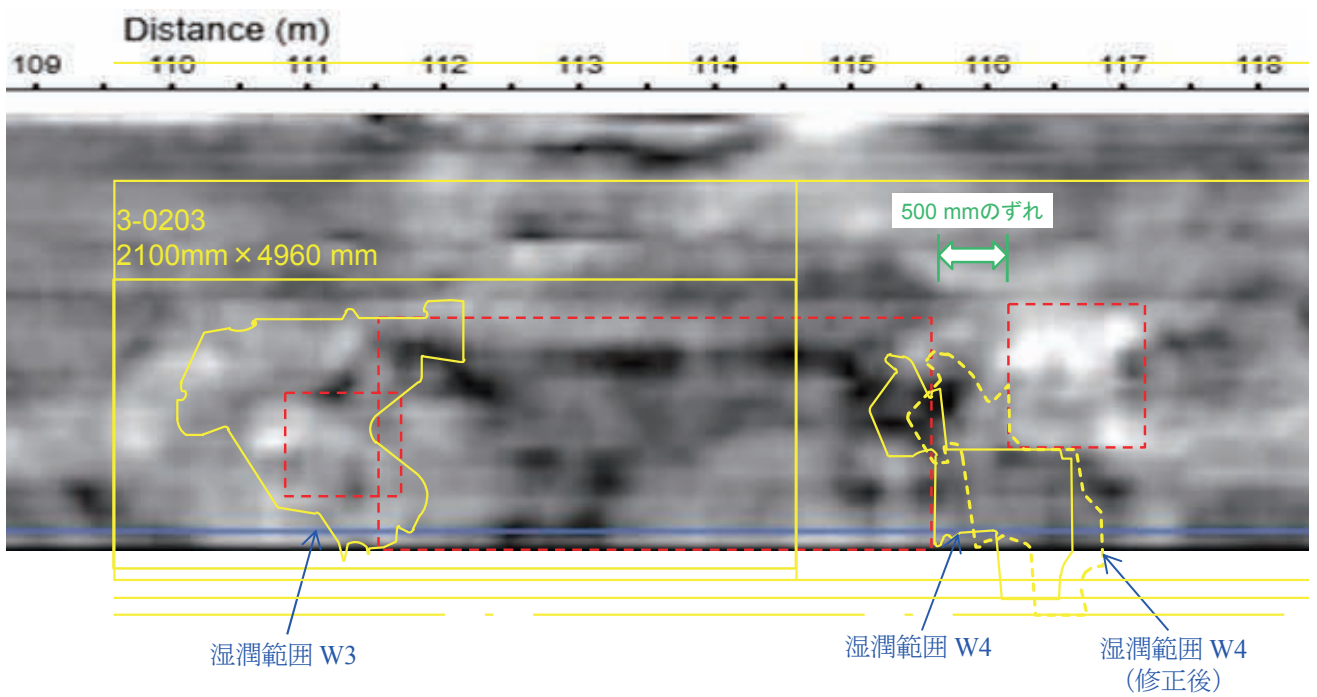


(b) 測定箇所付近の状況

図-5.1.14 パネル 3-0202 (浮き部) の床版下面の含水状態 (P2 から約 7m)



(a) 路面画像



(b) レーダ画像 (タイムスライス)

図-5.1.15 車載式レーダの測定結果と舗装下湿潤範囲の関係

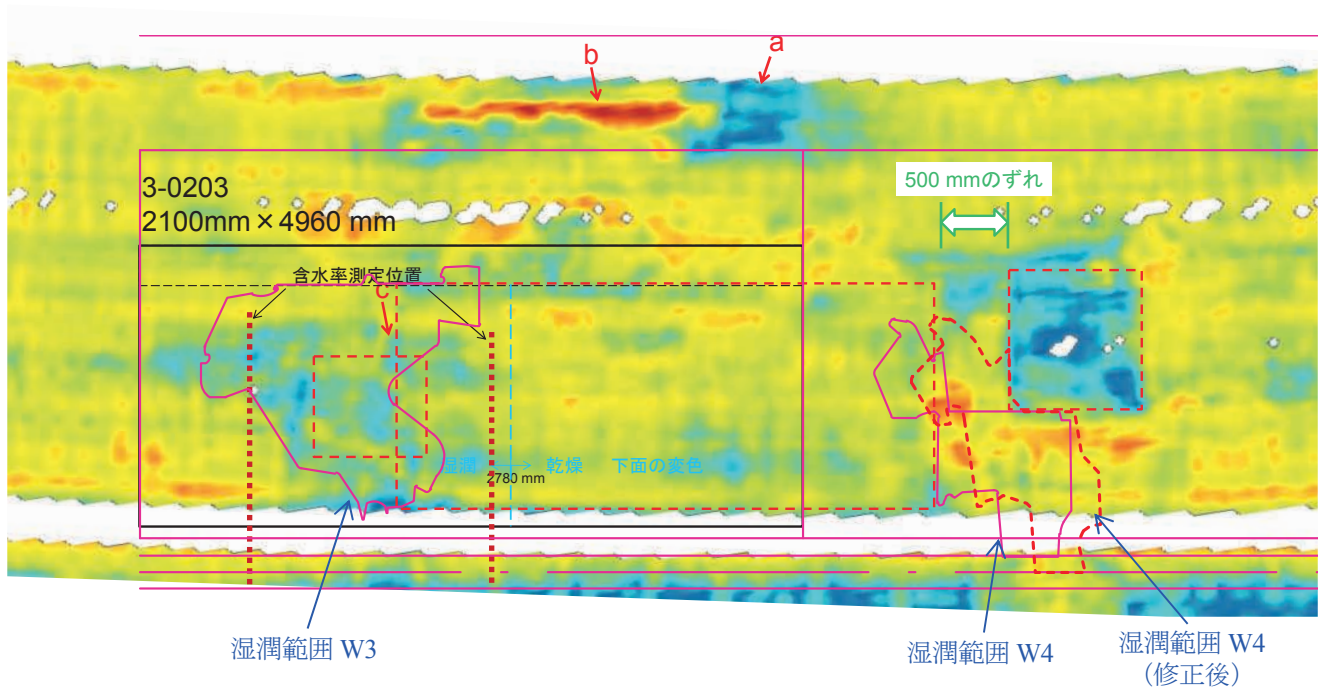


図-5.1.16 カート式レーダの測定結果と舗装下湿潤範囲の関係

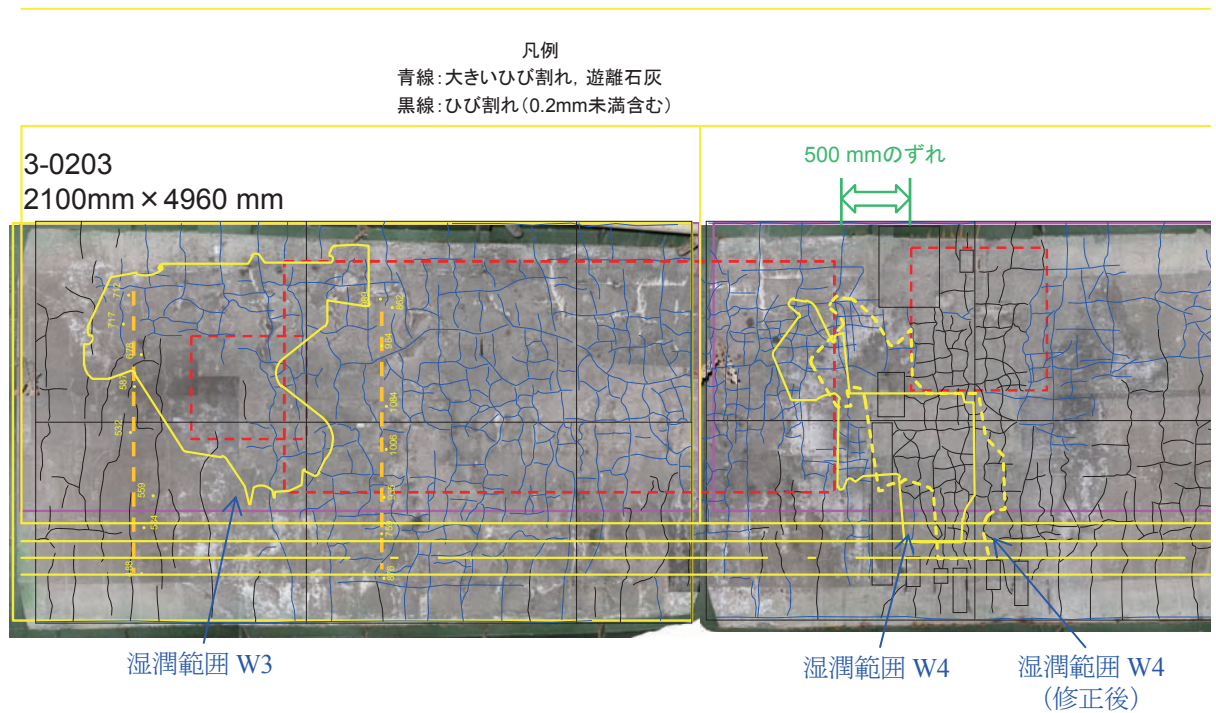


図-5.1.17 床版下面のひび割れ図，漏水状況（2014 年）と舗装下湿潤範囲（2019 年）の関係



図-5.1.18 湿潤範囲 W4 の形状

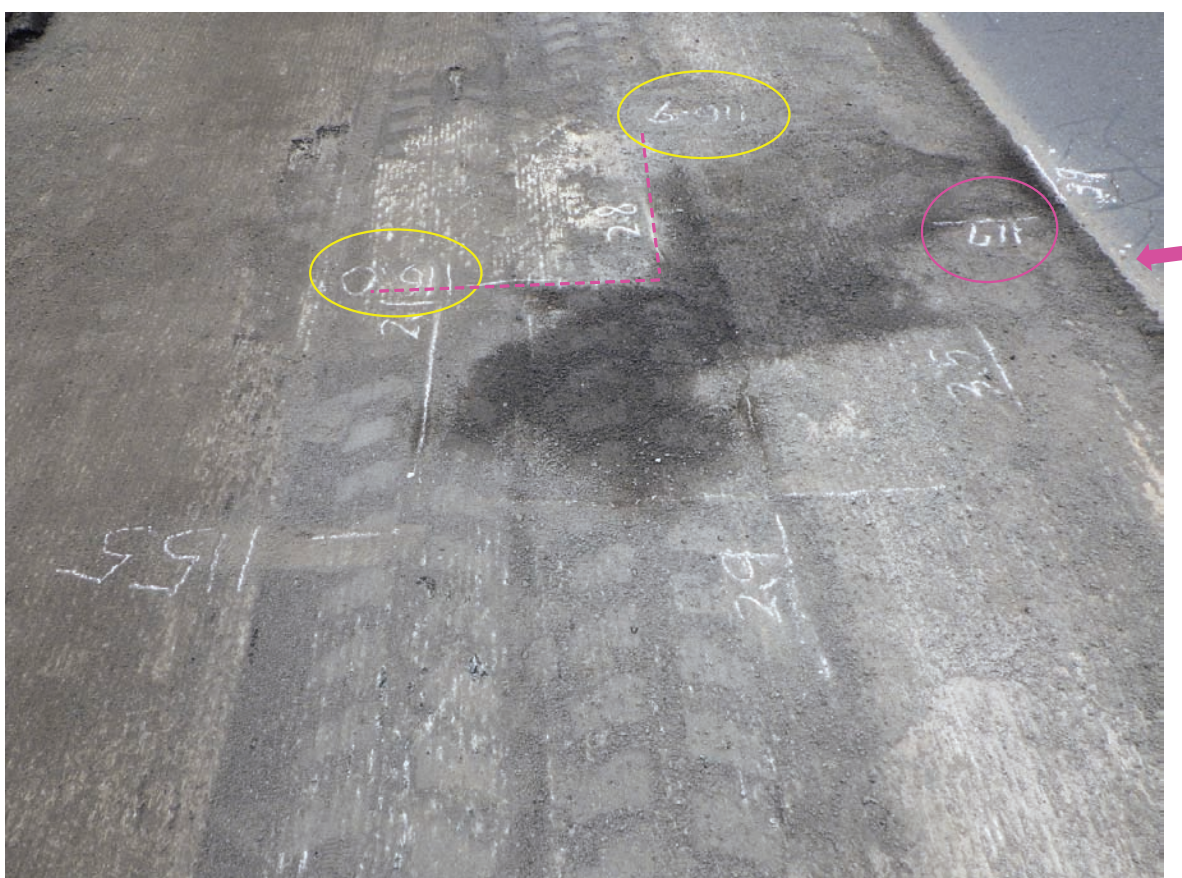


図-5.1.18 湿潤範囲 W4 の形状 (つづき)

5.2 床版、舗装の部分補修と滞水、漏水

以上の結果を踏まえて（ただし、レーダの結果を除く）、図-5.2.1 に示す第3 径間、箱桁間床版の#1～#7 の断面について、舗装、床版の損傷状況及び水の浸透状況について確認できた点及び一部推定される点を図-5.2.2 に示す。ただし、下り線の範囲に限定する。図-5.2.3 に、第3 径間、箱桁間床版の設計図に基づく配筋状況と、各部の概略の深さを示す。また、図-5.2.2 の図を、断面ごとに図-5.2.4～10 に示すとともに、表-5.2.1 ～7 にそれぞれの図について深さごとの補足事項を整理して示す。そのうち、水平ひび割れの位置は、図-4.1.18 の貫通孔での確認、図-4.1.8(d)の補修材厚、図-5.3.6、図-5.3.8 の補修時の状況を参考に類推した。

断面#1、#2 では、舗装のひび割れが見られるが、舗装の補修はされていなかった。また、いずれも床版上面には浮きが認められた。そのうち断面#1 では、床版上面の滞水や床版下面の漏水は見られなかった。一方、断面#2 では、床版上面の滞水や床版下面の漏水が見られたことから、浮きが認められた床版コンクリート内部の水平ひび割れ面にも一部滞水していた可能性があると考えられる。

断面#3～#5 では、舗装のひび割れがかつて見られた箇所で部分補修されていた。そのうち、断面#3 は、床版に浮きが認められ、床版上面の滞水や床版下面の漏水が見られた。断面#3 のうち、コンクリートの部分補修の端部付近で、既存の床版コンクリートに土砂化が見られた。断面#4、#5 では、床版コンクリートの上部部分打換えが行われていて、いずれも浮きが認められた。断面#4 の床版上面の滞水は見られなかったが、床版下面に著しい漏水が見られた。このことから、前述 5.1 のとおりコンクリートの補修材の下には、滞水が生じていた可能性があると考えられる。一方、断面#5 では、床版上面の滞水が見られず、床版下面の漏水も#4 に比べると外見上軽微であった。ただし、床版補修前の 2014 年時点では漏水が見られたことから、補修後に路面からの水の浸透が多少抑制されていた可能性があると考えられる。

断面#6 では、舗装の著しいひび割れ損傷が見られるが、舗装の補修はされていなかった。床版には浮きが認められた。床版上面の一部に滞水が見られ、また床版下面には広範囲に漏水跡（遊離石灰）が見られた。このことから、少なくとも床版上面の滞水箇所付近では、床版コンクリートの水平ひび割れ面にも一部滞水していた可能性があると考えられる。

断面#7 では、以前、舗装のひび割れが見られた箇所の一部で舗装が部分補修されていた。舗装の部分補修された箇所では、床版上部のコンクリートの部分打換えが行われていた。それ以外の舗装が部分補修されていない箇所では、床版上面の滞水が見られた。床版の部分補修されていない箇所、床版の部分補修された箇所ともに、浮きが認められた。床版下面の漏水は外見上軽微であった。断面#7 の付近は、2014 年当時、既に舗装のひび割れが見られた。

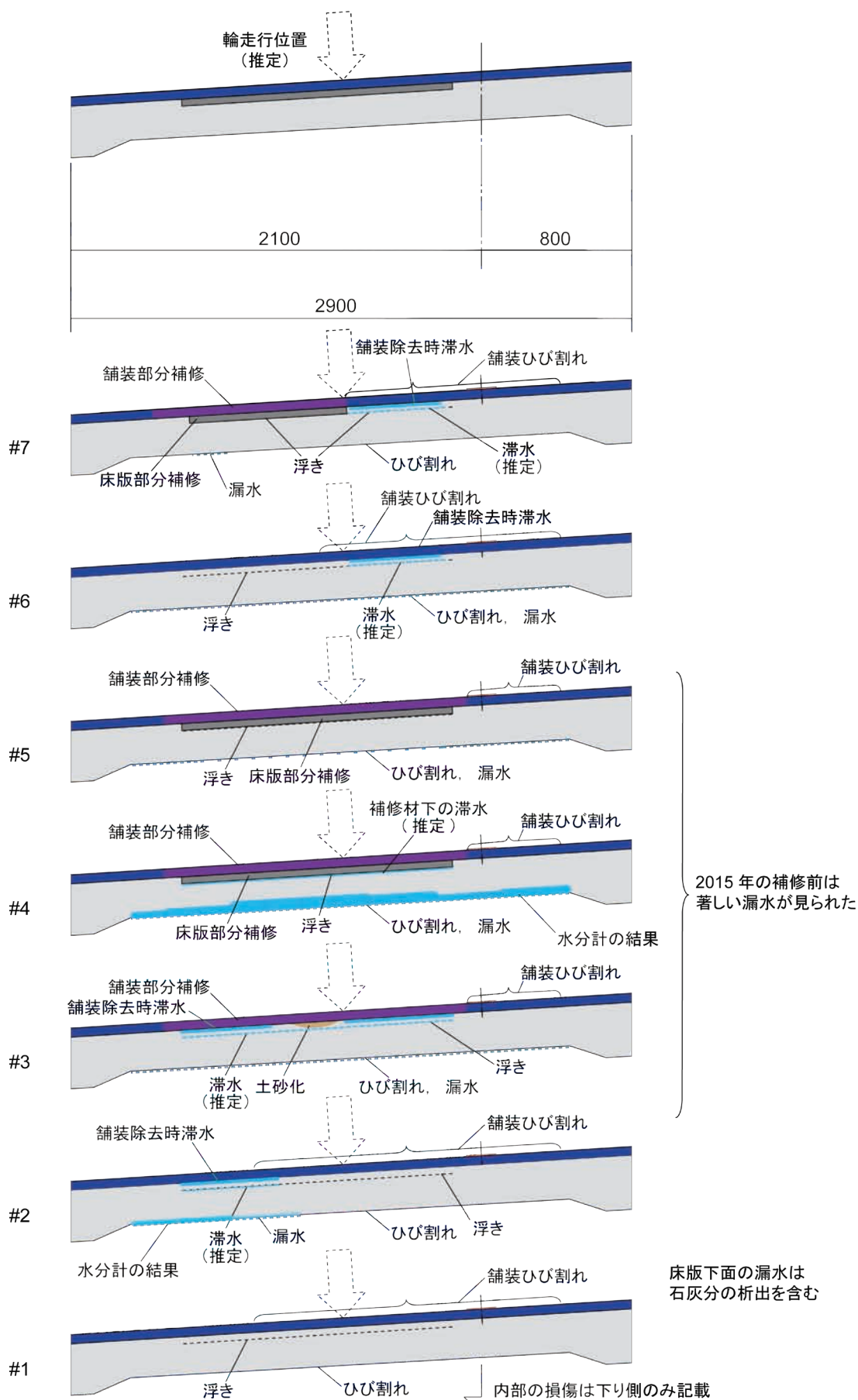
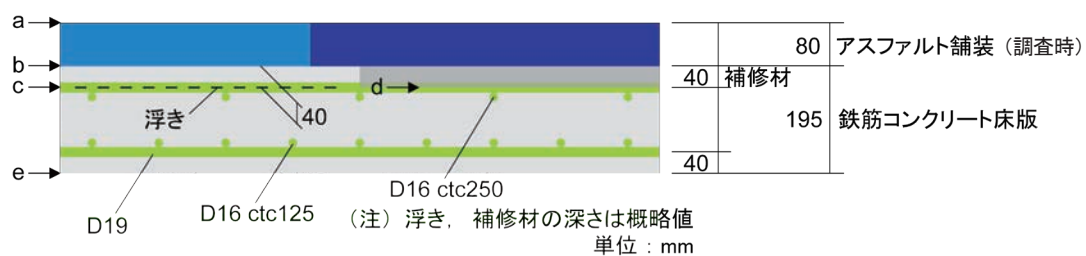


図-5.2.2 調査結果に基づく断面#1～#7における含水状態及び劣化状態の推定



注) 浮きの深さ，補修材厚は推定.

図-5.2.3 Y 橋，第 3 径間における床版各部の厚さ，深さ

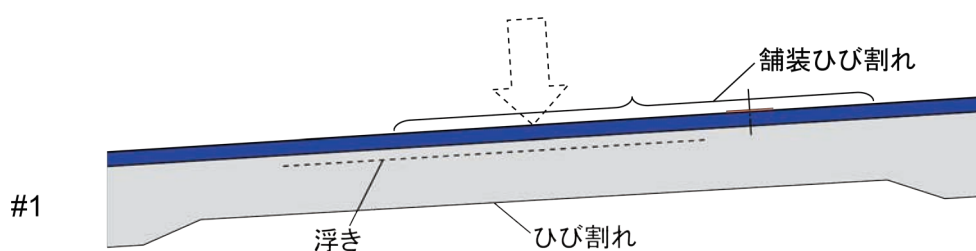


図-5.2.4 断面#1 の状態（図-5.2.2 から抜粋して再掲）

表-5.2.1 断面#1 の各深さの観察（推定含む）

深さ方向位置	深さ (mm)	含水状態	損傷状態	備考
a 路面	-80	—	舗装ひび割れ，シーリング注入	
b 床版上面	0	滞水なし	変状なし，浮きあり	浮きはたたきによるチョークを参照した.
c 水平ひび割れ	40	滞水なし	(深さは推定)	
e 床版下面	195	漏水なし	格子状ひび割れ	

注) 深さは床版上面からの距離を示す.

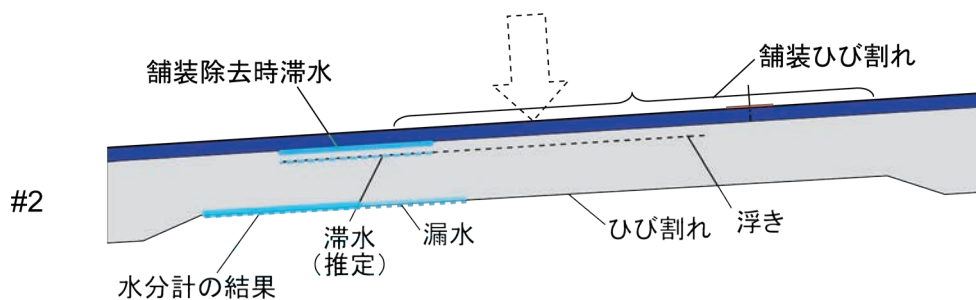


図-5.2.5 断面#2 の状態 (図-5.2.2 から抜粋して再掲)

表-5.2.2 断面#2 の各深さの観察 (推定含む)

深さ方向位置	深さ (mm)	含水状態	損傷状態	備考
a 路面	-80	—	舗装ひび割れ, シール注入	
b 床版上面	0	一部滞水あり	変状なし, 浮きあり	浮きはたたきによるチョークを参照した.
c 水平ひび割れ	40	一部滞水あり (推定)	(深さは推定)	
e 床版下面	195	一部遊離石灰あり	格子状ひび割れ	漏水箇所の D 値 587 - 717

注) 深さは床版上面からの距離を示す。D 値は水分計による実測値を示す。

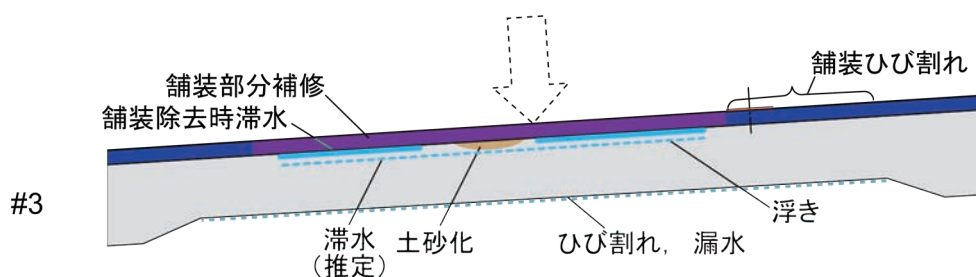


図-5.2.6 断面#3 の状態 (図-5.2.2 から抜粋して再掲)

表-5.2.3 断面#3 の各深さの観察 (推定含む)

深さ方向位置	深さ (mm)	含水状態	損傷状態	備考
a 路面	-80	—	部分補修あり, 損傷なし	
b 床版上面	0	一部滞水あり	浮きあり, 土砂化あり	浮きはたたきによるチョークを参照した.
c 水平ひび割れ	40	滞水あり (推定)	(深さは推定)	
e 床版下面	195	一部遊離石灰あり	格子状ひび割れ	

注) 深さは床版上面からの距離を示す。

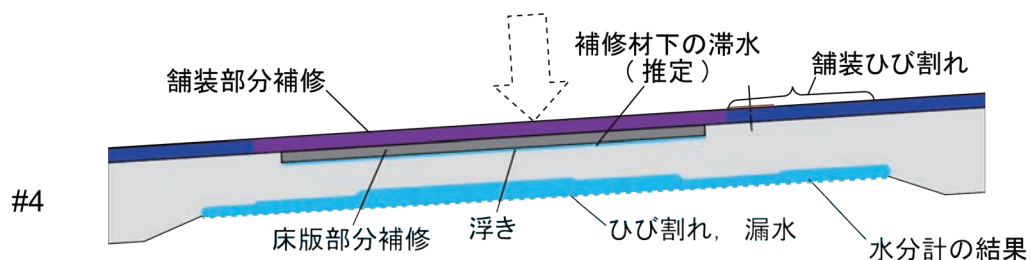


図-5.2.7 断面#4 の状態 (図-5.2.2 から抜粋して再掲)

表-5.2.4 断面#4 の各深さの観察 (推定含む)

深さ方向位置	深さ (mm)	含水状態	損傷状態	備考
a 路面	-80	—	部分補修あり, 損傷なし	
b 床版上面	0	滞水なし	部分補修あり, 浮きあり	浮きはたたきによるチョークを参照した.
d 補修材下面	40	滞水あり (推定)	補修材界面付近 (深さは推定)	
e 床版下面	195	遊離石灰あり	格子状ひび割れ	2014 年, 補修前に著しい漏水あり, D 値 759 - 1084

注) 深さは床版上面からの距離を示す. D 値は水分計による実測値を示す.

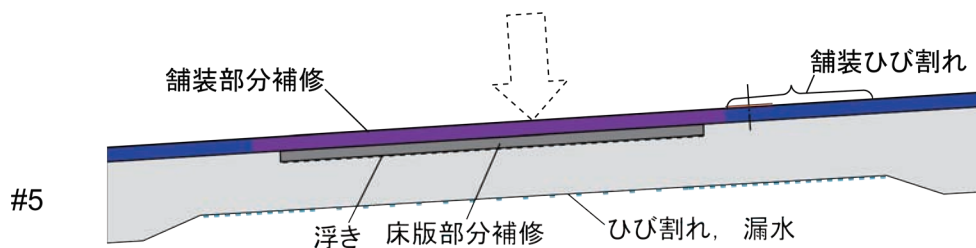


図-5.2.8 断面#5 の状態 (図-5.2.2 から抜粋して再掲)

表-5.2.5 断面#5 の各深さの観察 (推定含む)

深さ方向位置	深さ (mm)	含水状態	損傷状態	備考
a 路面	-80	—	部分補修あり, 損傷なし	
b 床版上面	0	滞水なし	部分補修あり, 浮きあり	浮きはたたきによるチョークを参照した.
d 補修材下面	40	滞水なし (推定)	補修材界面付近 (深さは推定)	
e 床版下面	195	一部遊離石灰あり	格子状ひび割れ	2014 年, 補修前に著しい漏水あり

注) 深さは床版上面からの距離を示す.

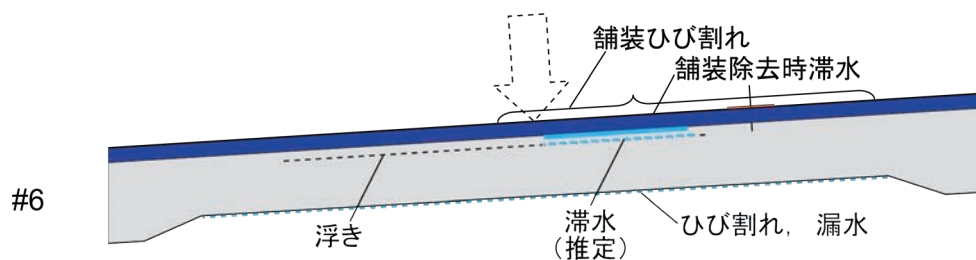


図-5.2.9 断面#6 の状態 (図-5.2.2 から抜粋して再掲)

表-5.2.6 断面#6 の各深さの観察 (推定含む)

深さ方向位置	深さ (mm)	含水状態	損傷状態	備考
a 路面	-80	—	著しいひび割れ, シールあり	舗装の損傷は 2014 年の補修時に既に見られた.
b 床版上面	0	一部滞水あり	ひび割れと大きい角欠け, 浮き	
c 水平ひび割れ	40	一部滞水あり (推定)	(深さは推定)	浮きはたたきによるチョークを参照した.
e 床版下面	195	遊離石灰あり	格子状ひび割れ	

注) 深さは床版上面からの距離を示す.

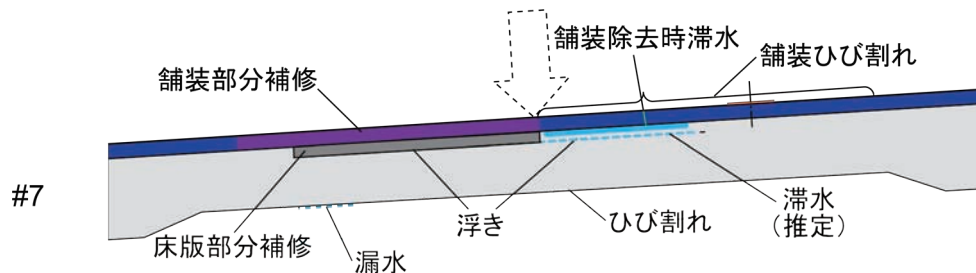


図-5.2.10 断面#7 の状態 (図-5.2.2 から抜粋して再掲)

表-5.2.7 断面#7 の各深さの観察 (推定含む)

深さ方向位置	深さ (mm)	含水状態	損傷状態	備考
a 路面	-80	—	部分補修あり, 損傷なし	浮きはたたきによるチョークを参照した.
b 床版上面	0	一部滞水あり	部分補修あり, ひび割れと大きい角欠け, 浮き	
c 水平ひび割れ	40	一部滞水あり (推定)	補修材界面付近 (深さは推定)	
d 補修材下面	40		界面付近ひび割れ (深さは推定)	
e 床版下面	195	一部遊離石灰あり	格子状ひび割れ	補修前に著しい漏水あり

注) 深さは床版上面からの距離を示す.

5.3 Y 橋の舗装と床版の損傷状況

2.3 節で、2014 年の補修時における床版上面コンクリートの損傷事例を示した。それ以外の損傷事例について、調査時の写真やストリートビューによる路面画像と突き合わせてその損傷箇所、3 箇所を特定した。図-5.3.1～2 に、その 3 箇所を舗装の部分補修の範囲でそれぞれ示す。また、それぞれの補修範囲内で任意に決めた断面#8～#10 の位置を示す。

図-5.3.3 に、ストリートビューによる断面#9 付近の補修前、補修後の舗装路面の状況を示す。また、図-5.3.4 に、補修時の舗装路面と床版上面の損傷状況を示す。2013 年 1 月から約 2 年半の間に、路面状況が急速に悪化していたことがわかる。また、図-5.3.4(a)に示した舗装の一部はポットホールをごく応急的に埋めた跡が見られるが、その直下付近の床版コンクリートが著しく損傷していた。

同様に、図-5.3.5 に、ストリートビューによる断面#8 付近の補修前、補修後の舗装路面の状況を示す。また、図-5.3.6 に、補修時の床版上面の損傷状況と、床版上面の損傷部位を取り除いて鉄筋の防食処理を施した状況を示す。断面#9 付近と同様に、床版コンクリートが著しく損傷していた。鉄筋は防食処理が施されているが、鉄筋のふしは概ね残っているようであり、著しい腐食は認められない。

さらに、図-5.3.7 に、ストリートビューによる断面#10 付近の補修前、補修後の舗装路面の状況を示す。また、図-5.3.8 に、補修時の床版上面の損傷状況と、床版上面の損傷部位を取り除いた状況を示す。この部位でも床版コンクリートが損傷していた。鉄筋の腐食やさび汁はほとんど見られない。図-5.3.8 に緑矢印で示すとおり、鉄筋の端部が走行方向に概ね同じライン上に配置されていた。

上記の#8～#10 の 3 か所はいずれも下り線で見られた。その箇所は、2005 年以降の記録で、箱桁間の床版上に舗装のひび割れが多数見られた範囲であり、かつセンターラインに近い側の輪走行位置付近であった(厳密に見れば、#8 の損傷位置はセンターライン寄りであった)。

図-5.3.9 に、図-5.3.8 で見られた鉄筋端部の定着の影響について概念図を示す。上り側に車両が載って箱桁間に相対変位が生じる場合や、下り側に車両が載った場合に、図-5.3.8 に緑矢印で示した鉄筋は、この働きによって、床版コンクリートの上段鉄筋の端部でかぶりコンクリートを押し上げる力が作用し、何らかの要因によって生じる水平ひび割れの発生、伸展を助長する可能性があると考えられる。また、図-5.3.8 の後、床版上面が補修されたと考えられるが、その補修材を鉄筋端部で押し上げることによって、早期に母材と補修材の界面に隙間が生じる可能性が高くなると想定される。

図-5.3.10 に、参考として、図-5.2.2 と同様に、2019 年調査時の断面#8～#10 における含水状態及び劣化状態を推定して示す。#8～#10 は、いずれも 2019 年調査時点では概ね同様であったと考えられる。

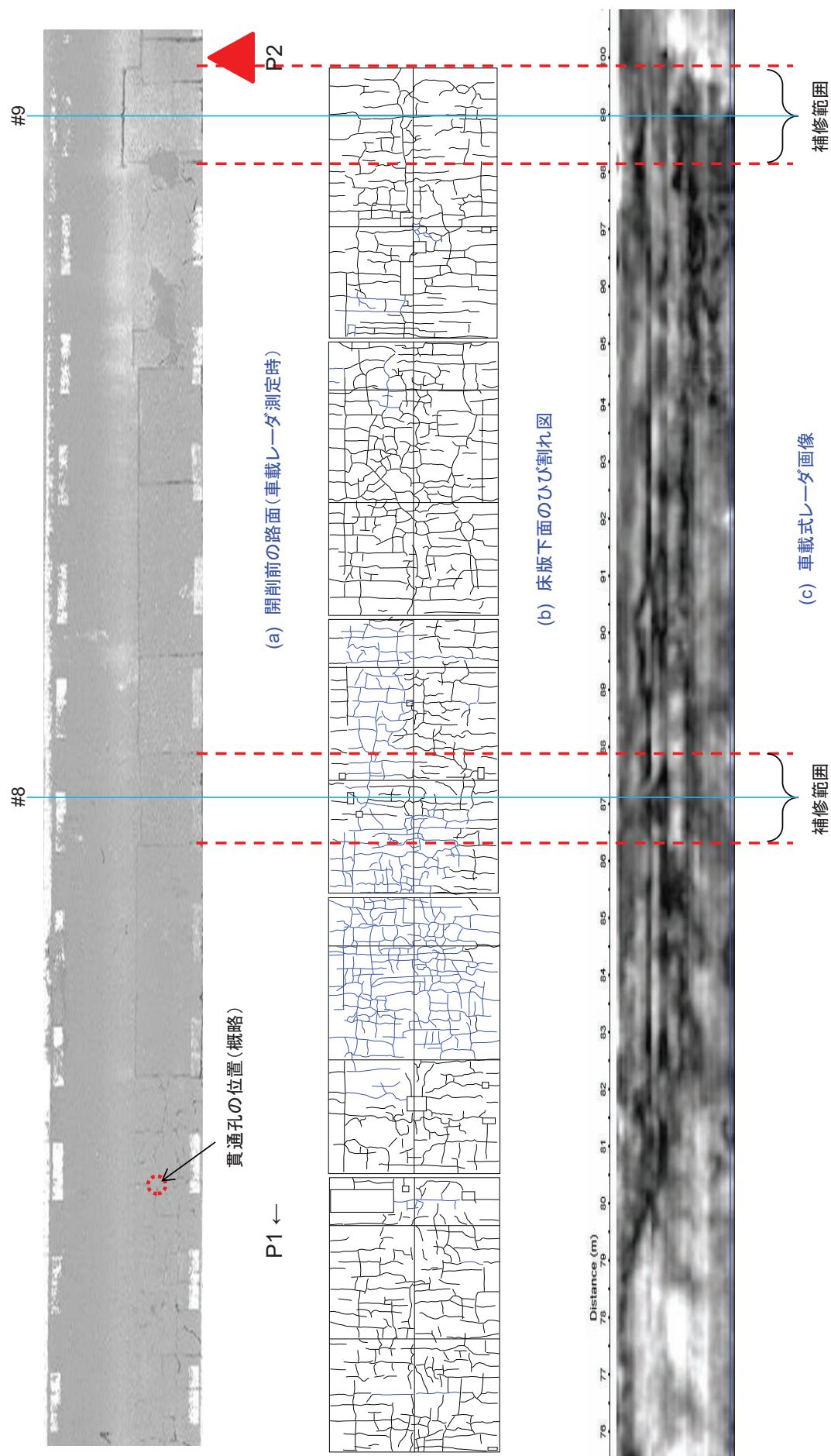


図-5.3.1 床版損傷，補修位置の確認（概ねパネル 2-0206～2-0210 の範囲を示す）

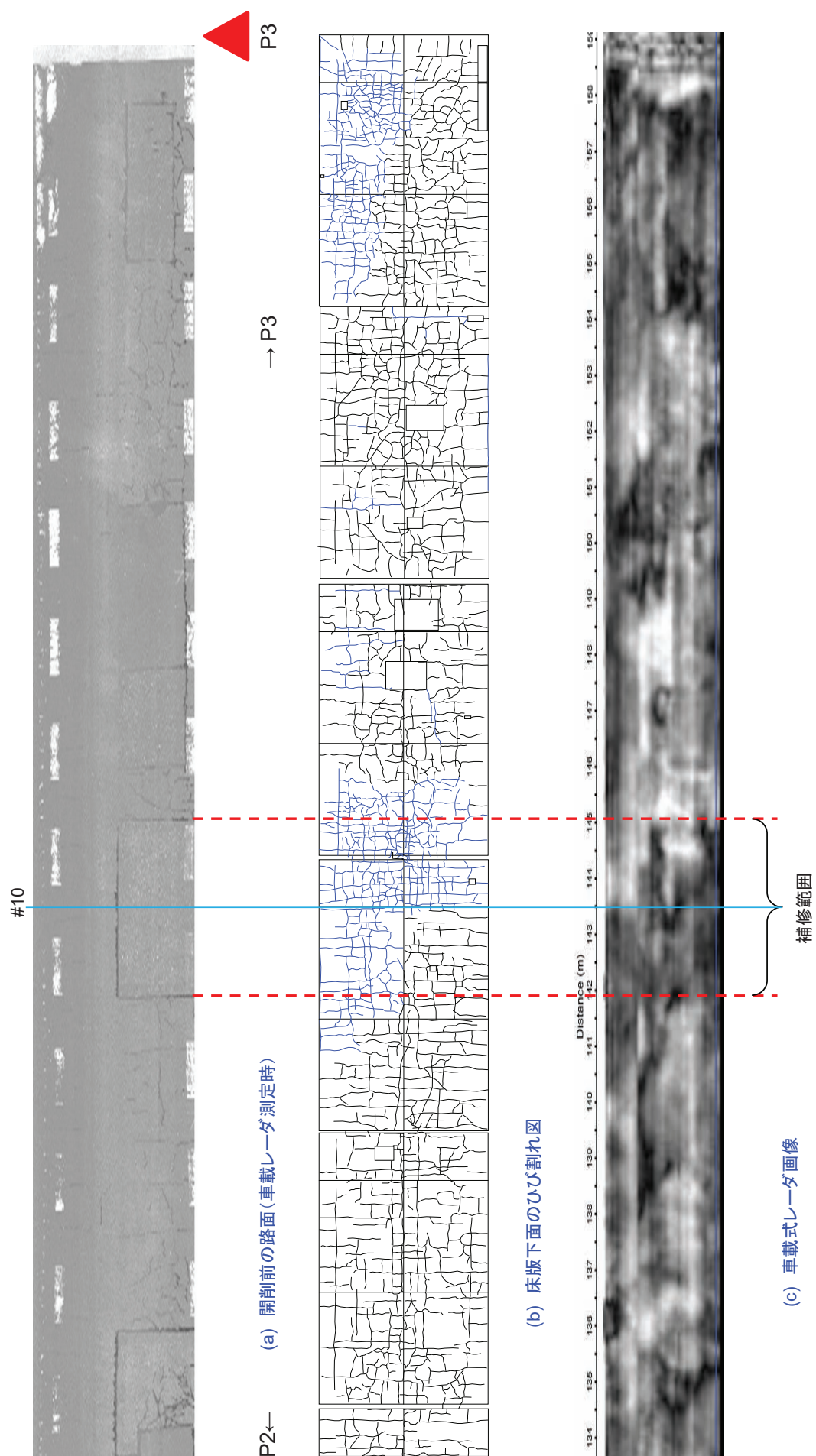
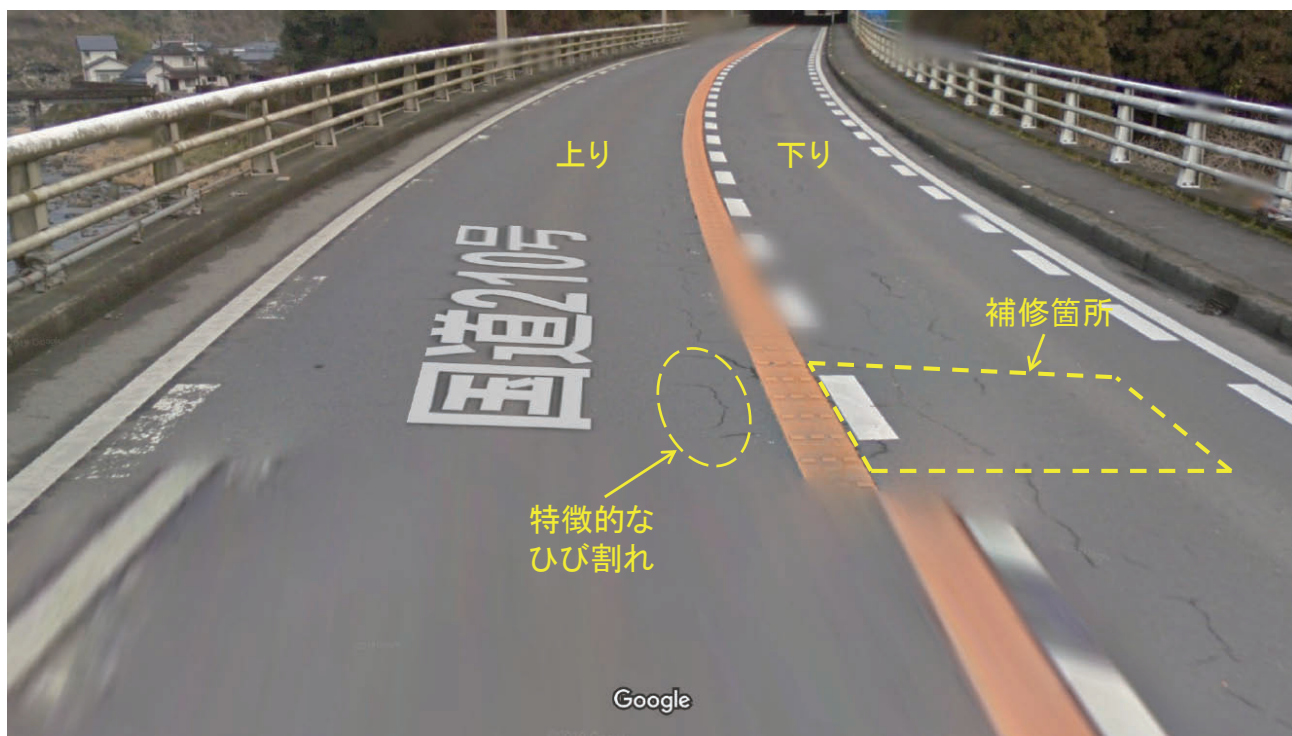


図-5.3.2 床版損傷，補修位置の確認（概ねパネル 3-0208～3-0212 の範囲を示す）



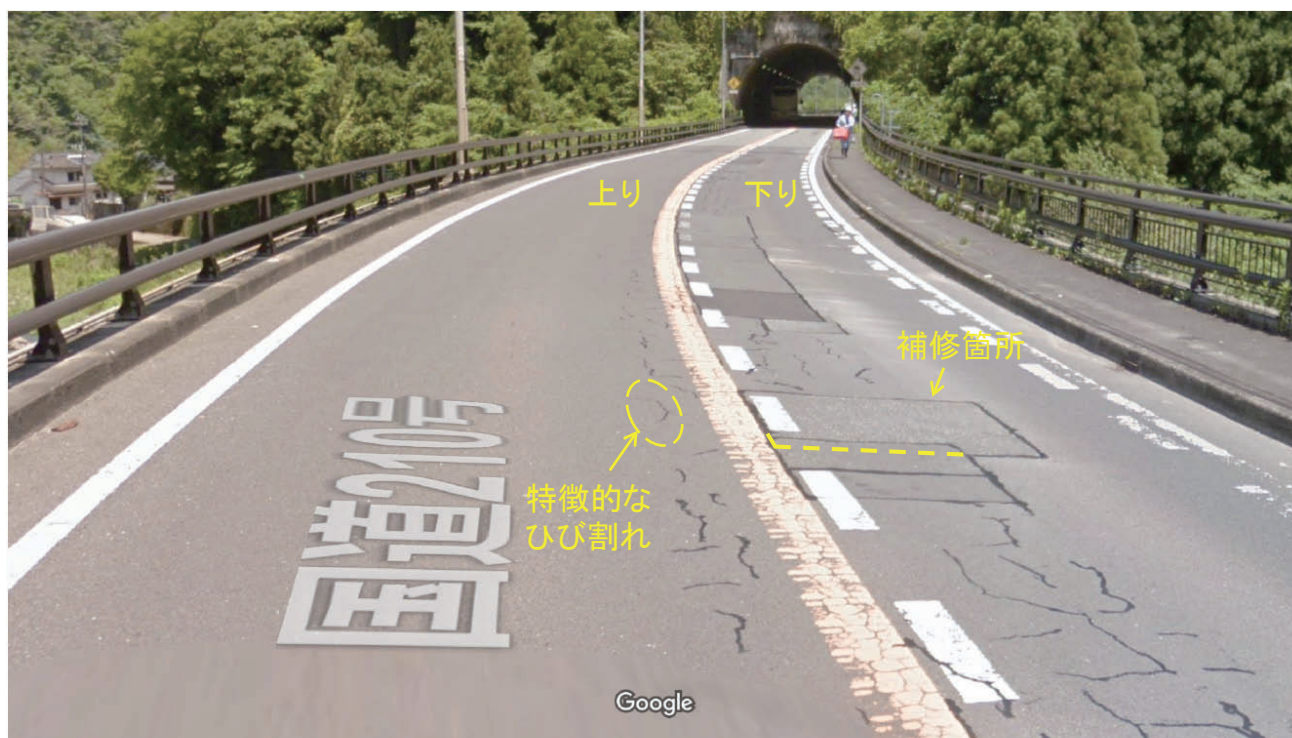
A1から98～100m, P2付近

Google 2013.1撮影

撮影日: 1月 2013 © 2021 Google

(a) 補修前, 2013 年¹⁾

<https://www.google.co.jp/maps/@33.2621455,131.0106087,3a,36.2y,18.9h,71.82t/data=!3m6!1e1!3m4!1shB7Gsk-UwzGPljXupTCPnA!2e0!7i13312!8i6656>



A1から98～100m, P2付近

Google 2018.5撮影

撮影日: 5月 2018 © 2021 Google

(b) 補修後, 2018 年²⁾

<https://www.google.co.jp/maps/@33.2621761,131.0106137,3a,75y,15.34h,54.62t/data=!3m7!1e1!3m5!1s5kVNliF50jOGkRjq54I3lw!2e0!5s20180501T00000!7i13312!8i6656>

注) いずれも Google ストリートビューから引用し, 黄色の文字, 線を加筆した。

図-5.3.3 断面#9 付近の補修前後の路面状況

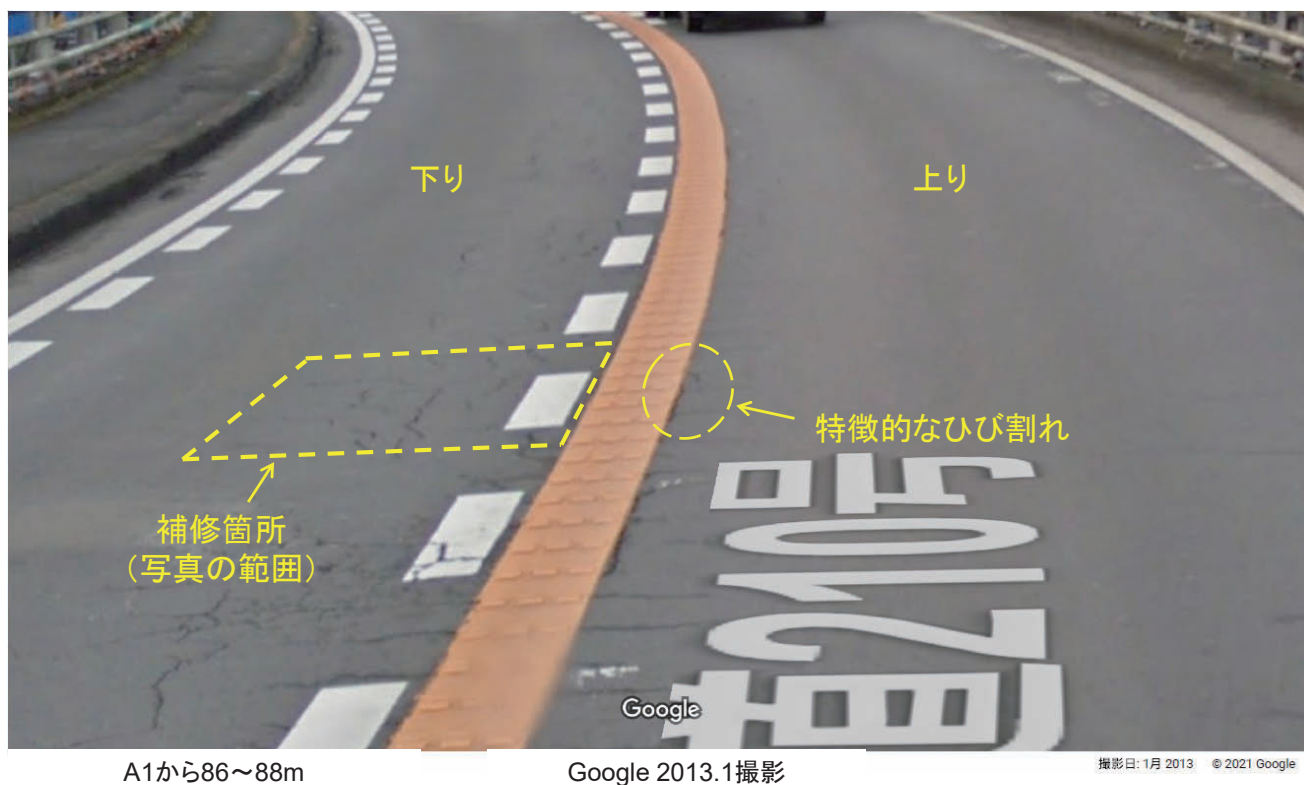


(a) 補修直前の路面, 2015 年 9 月



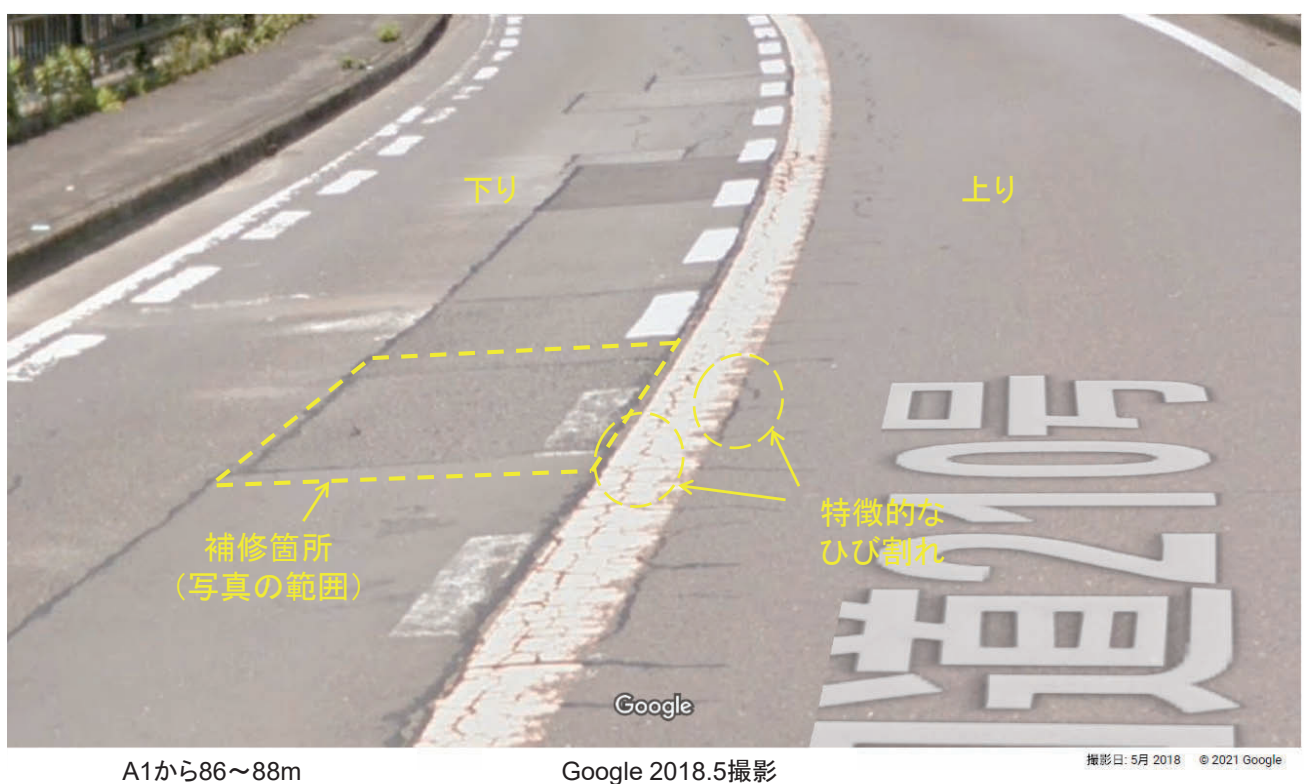
(b) 補修直前の床版上面, 2015 年 9 月

図-5.3.4 断面#9 付近における補修直前の路面, 床版上面の損傷状況



(a) 補修前, 2013 年³⁾

https://www.google.co.jp/maps/@33.262407,131.010719,3a,15y,197.37h,79.49t/data=!3m7!1e1!3m5!1slys_rO8pBD4cGxsD9d69gQ!2e0!5s20130101T000000!7i13312!8i6656



(b) 補修後, 2018 年⁴⁾

<https://www.google.co.jp/maps/@33.2624083,131.0107126,3a,15y,193.74h,78.37t/data=!3m7!1e1!3m5!1sfAH9Bihj-1hH2KLYK5Xq5w!2e0!5s20180501T000000!7i13312!8i6656>

注) いずれも Google ストリートビューから引用し, 黄色の文字, 線を加筆した.

図-5.3.5 断面#8 付近の補修前後の路面状況

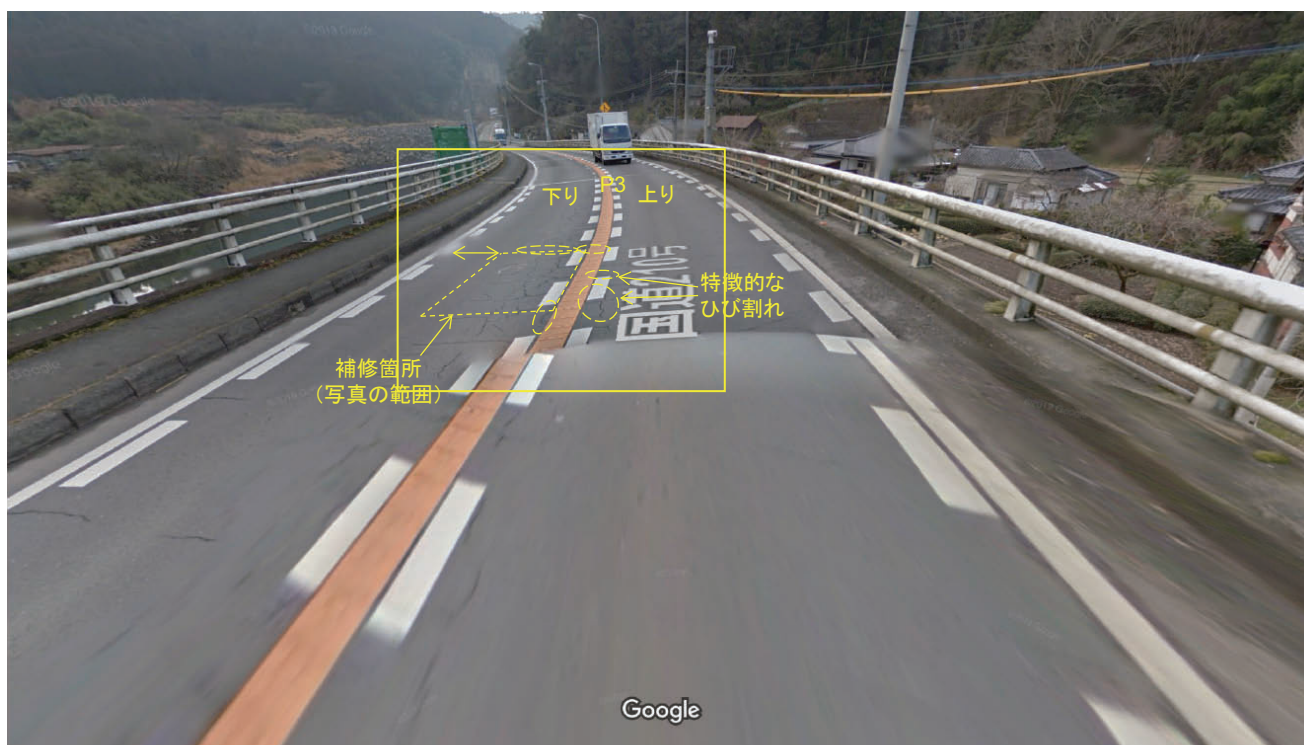


(a) 補修直前の床版上面，2016 年 9 月



(b) 補修直前の床版上面，2016 年 9 月

図-5.3.6 断面#8 付近における補修直前の路面，床版上面の損傷状況



A1から142～145m

Google 2013.1撮影

撮影日: 1月 2013 © 2021 Google

(a) 補修前, 2013 年⁵⁾

https://www.google.co.jp/maps/@33.2618743,131.0105714,3a,72.2y,176.76h,62.06t/data=!3m6!1e1!3m4!1sWe9G7ge7Zws_2F8G6EvTWQ!2e0!7i13312!8i6656



A1から142～145m

Google 2018.5撮影

撮影日: 5月 2018 © 2021 Google

(b) 補修後, 2018 年⁶⁾

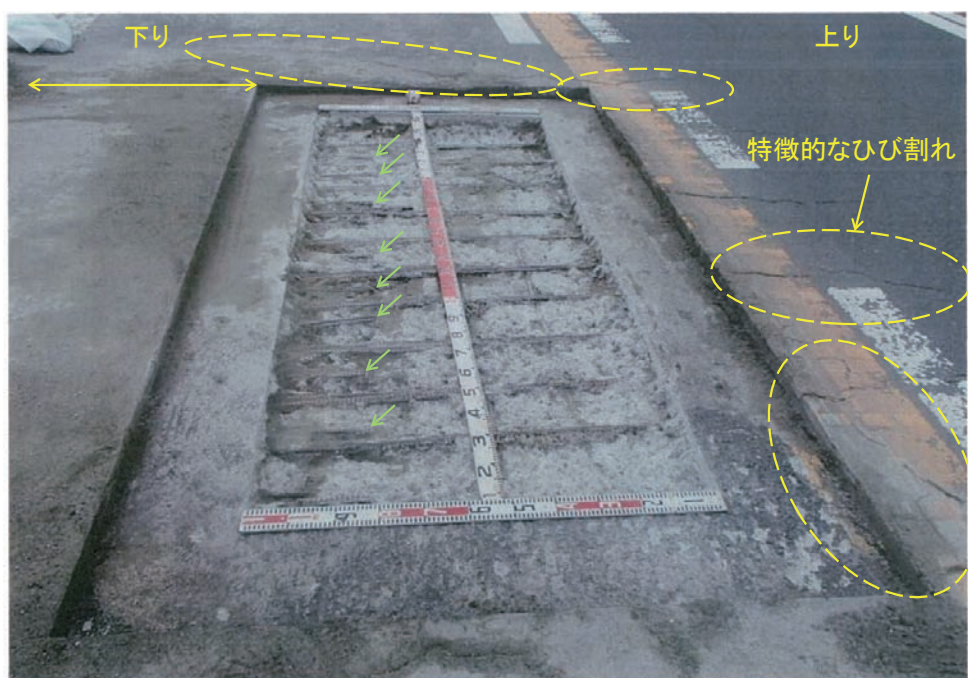
<https://www.google.co.jp/maps/@33.2618886,131.0105678,3a,48.7y,169.36h,77.26t/data=!3m6!1e1!3m4!1staJmlQpJA9aiuBaPd100JQ!2e0!7i13312!8i6656>

注) いずれも Google ストリートビューから引用し, 黄色の文字, 線を加筆した.

図-5.3.7 断面#10 付近の補修前後の路面状況

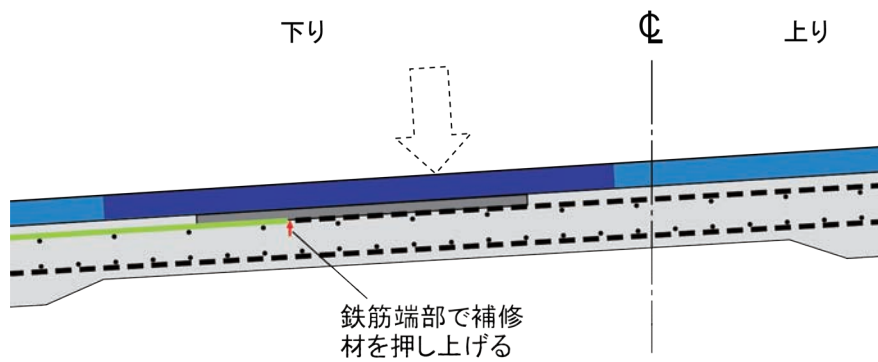


(a) 補修直前の床版上面，2015 年 9 月

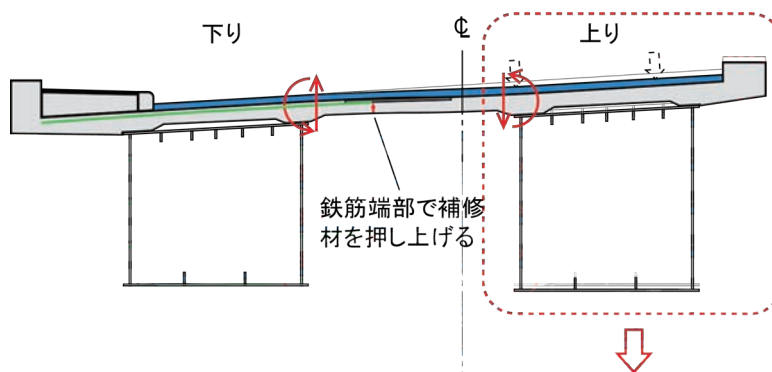


(b) 補修直前の床版上面，2015 年 9 月

図-5.3.8 断面#10 付近における補修直前の路面，床版上面の損傷状況



(a) 下り線に車両が載った場合



(b) 上り線に車両が載った場合

図-5.3.9 Y橋における鉄筋端部の定着の影響（概念図）

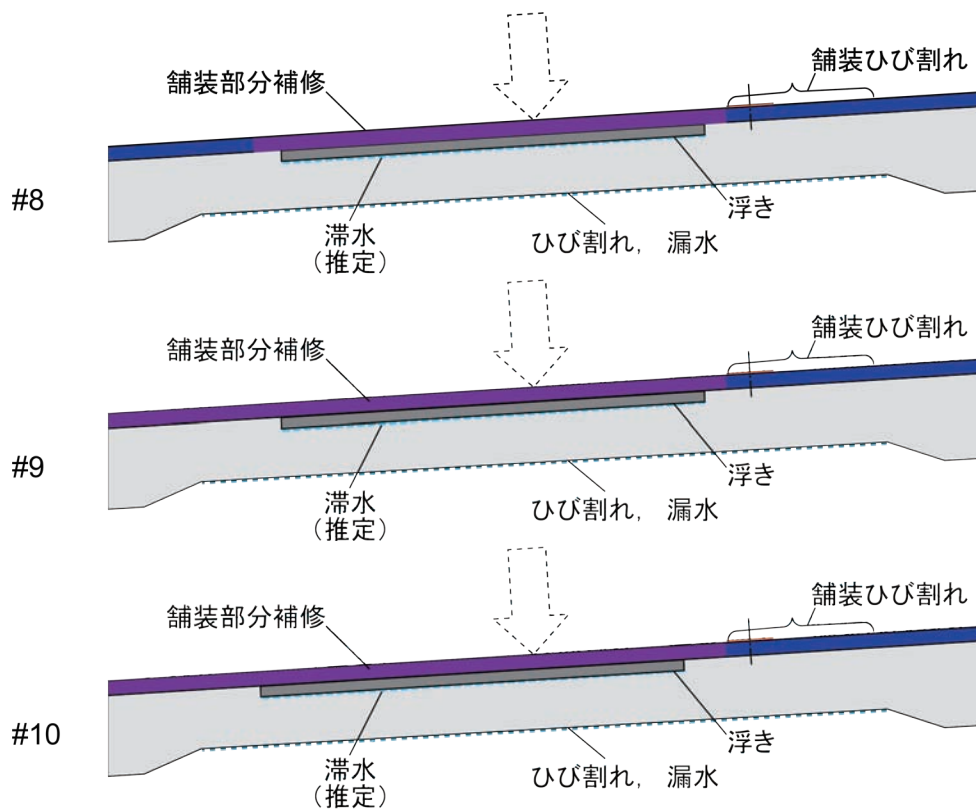


図-5.3.10 2019年調査時の断面#8～#10における含水状態及び劣化状態の推定

5.4 Y 橋における舗装と床版の劣化過程の推定

表-5.4.1 に、Y 橋の橋面舗装と床版で見られた損傷の特徴を整理して示す。これらのうち、橋面舗装のひび割れが多く見られた範囲(図-5.4.1～2)と、床版上面の浮きが認められた範囲が一致する傾向が見られた。舗装のひび割れ、床版上面の浮きともに、A1-P1 間では、ところどころではあるが全幅にわたって見られ(舗装のひび割れは床版の正曲げ区間に多い)、P1-P3 間では箱桁間の床版上で多く見られた。いずれの区間も、橋面舗装のひび割れと床版上面の浮きのどちらが先行して発生したかを検証できる明確な情報は得られていない。以下、A1-P1 間と P1-P3 間の環境条件、構造条件の違いと、表-5.4.1 に沿って Y 橋で見られた各損傷の確認状況について述べる。

(1) A1-P1 間全面と P1-P3 間の箱桁間床版の類似点・相違点、箱桁上との相違点

- a) A1-P1 間全面と P1-P3 間の箱桁間の床版は、箱桁上の床版に比べて、床版支間が大きく、相対的に大きいたわみが生じやすい。
- b) 両者ともに活荷重によると考えられる格子状ひび割れが床版下面のほぼ全面に見られた。ただし、箱桁上も同様であるかは確認できていない。
- c) A1-P1 間全面と P1-P3 間の箱桁間の床版下面は外気に露出しており、路面温度や床版内温度に関して外気温の変化への追従性が箱桁上と異なる。
- d) A1-P1 間は直線橋で路面が拝み勾配であり、一方の P1-P3 間の箱桁は曲線橋で路面がきつい片勾配である。
- e) 曲線橋の P1-P3 間の床版は、2 本の箱桁間の相対変位の影響を直線橋の場合に比べて受けやすいと考えられる。

(2) 橋面舗装のひび割れ

- a) 2005 年の点検時には、既に橋面舗装に多数のひび割れが見られた。2005 年時点の床版下面のひび割れ状況は示されていないことから、床版下面のひび割れや遊離石灰はごく限られたものであったと考えられる。少なくとも床版下面のひび割れよりは、舗装のひび割れの方が先行していたと考えられる。
- b) 上記 a) の状況では、通常程度の床版のたわみで、RC 床版上の橋面舗装にひび割れが生じる可能性は低いと考えられる。
- c) 上段鉄筋の深さ付近に床版コンクリートの浮きが比較的広範囲に認められた。浮き部分のコンクリートがさらに繰返し荷重や劣化の進行によってブロック化してくると、舗装に及ぼす影響が大きいと考えられる。しかし、舗装を剥いで一見健全に見えてしまう程度のコンクリートの浮きの場合に、橋面舗装にひび割れが生じるかは確認できていない。
- d) 温度の変化によって、橋面舗装にひび割れが生じるか。下面が開いていること及び河川であることによる影響で、仮に冬季に床版が著しく凍結することがある場合に、収縮によりアスファルト混合物のひび割れが生じ得るか。これらの点についても、現時点では確認できていない。

(3) 床版下面のひび割れ、漏水

- a) 2014 年の詳細調査結果より、床版下面のひび割れは、下面から確認できる範囲において、張り出し部を除いて、すべての床版パネルの全面に格子状ひび割れが認められた。関連性は明確でないが、それら

の範囲は、橋面舗装のひび割れが見られた範囲及び床版上面に浮きが認められた範囲と一致している。両者の関連の一つは、路面からの水の浸入の影響が挙げられる。ただし、箱桁上の床版下面は確認できていない。

- b) P1-P3 間、箱桁間の床版下面に見られた遊離石灰について、2010 年の定期点検時ではごく限られた範囲であったが、床版上面の補修が始まる前に行われた、2014 年の詳細調査時や 2015 年の定期点検時にはかなり広範囲に広がっていた。このことから、2005 年で既に舗装にひび割れが見られていたが、少なくとも 2010 年までは、水の浸透がほとんど生じていなかった。また、2010～2014 年の間に、格子状のひび割れと漏水が急激に進行する要因があったことがわかる。床版下面におけるひび割れの急激な進行の理由として、舗装のひび割れは以前より顕著であったがある段階から舗装の劣化が急激に進んで、水の浸入が生じ始めたか、あるいはこの期間に、近隣の工事等のため、大型車の通行が一時的に大幅に増加したか、の 2 点が挙げられる。
- c) 2014 年時点では、少なくとも舗装の補修は行われていなかったもので、舗装の補修が 2014 年詳細調査時の漏水の原因になったわけではない。
- d) 2014 年詳細調査時の A1-P1 間の床版下面に見られた遊離石灰は、A1 から 8m の位置における橋軸直角方向の貫通ひび割れに沿って見られた。この位置には照明用電線管が埋められており、コンクリート打設後の収縮により、この電線管に沿って貫通ひび割れが生じたと考えられる。これについては、付録 A1 に発生状況と原因についてまとめた。

(4) 床版上面コンクリートの浮き（水平ひび割れ）

P1-P3 間では、床版の補修跡、未補修箇所ともに、箱桁間の床版の大部分で上面コンクリートの浮きが認められた。表-5.4.2 に、この床版上面コンクリートの浮きについて考えられる要因とそれらの可能性を示す。

- a) 未補修箇所は、補修箇所における補修前のある段階での状態を表すものと考えられる。ただし、2019 年の床版補修では、ウォータージェットで床版上部のコンクリートを除去したため、内部の状態は確認できていない。前述のとおり、補修時の写真では、床版上面の浮きと土砂化が見られた。コンクリートを除去した状況では、鉄筋の明確な腐食は見られず、鉄筋に塗装している事例でも鉄筋のふしが見られたので、腐食の程度は比較的軽微であったと考えられる。このことから、当時の補修箇所では、床版コンクリートの浮きが見られたと推察されるが、鉄筋の腐食が主たる要因ではなかったと考えられる。
- b) 床版下面に格子状のひび割れが出た後は、輪走行位置付近に浮きが生じる可能性がある⁷⁾。しかし、2005 年、2010 年時点で、格子状のひび割れは見られなかったもので、少なくとも 2010 年には、疲労による床版コンクリートの浮きは生じていなかったと考えられる。
- c) アルカリシリカ反応（ASR）、粗骨材の凍結融解による割れ⁸⁾、膨張性骨材等の膨張によるコンクリートの割れ等、路面からの水、塩水の浸入によって、コンクリートの材料劣化が生じる可能性は、いずれも発生条件の観点からあり得ると考えられるが、実際にどの程度の状況にあったかは確認できていない。また、これらの原因による場合、上段の鉄筋位置のみで水平ひび割れが生じる理由は必ずしもないことから、少なくともこれらの材料劣化が主たる要因であった可能性は低いと考えられる。
- d) Y 橋の場合、図-5.3.8～9 のように、主鉄筋方向の上段鉄筋端部が箱桁間床版内で定着されていたため、

床版の変形によっては、床版上面のかぶりを剥がす方向の力がかかる可能性があったと考えられる。特に、上面のコンクリートを補修した後は、その補修材を押し上げる方向の力が作用して、母材と補修材の界面に隙間が生じやすい傾向にあったと推察される。ただし、箱桁間の相対変位等について、現地計測や解析的検討には至っていない。

(5) 土砂化

道路橋のコンクリート床版の土砂化とは、アスファルト舗装の下で、コンクリートの骨材と硬化セメントペーストが分離して堆積している状態をいう⁹⁾。そのとき、硬化セメントペーストは脆く崩れやすい状態または既に崩れて粒の状態である。これまでの事例では、路面からアスファルト舗装の打継目等を通じて侵入した土粒子と混在して、まさに土砂の状態になっていた事例もあれば、アスファルト舗装を剥いただけでは一見普通の硬化コンクリートのように見えても、ハンマー等を用いて手で簡単に鉄筋の下まで掘れるような状態になっていた事例もある。また、土砂化の中には、粗骨材の多くに割れが生じている場合と、粗骨材の割れがほとんど見られない場合がある。発見された時点では、コンクリートが既に土砂化しており、複数の劣化機構が関連していることもあり得るため、その起点となった劣化機構の確認が容易でない。土砂化した部分の周囲のコンクリートには、水平ひび割れが生じていることが多く¹⁰⁾、疲労、塩害、凍害、ASR などによって発生した水平ひび割れから、土砂化に伸展した可能性がある。しかし、ある橋では塩害による水平ひび割れが起点に、別の橋では凍害による水平ひび割れが起点に、というように、橋によって起点となる原因が異なる可能性がある⁹⁾。

図-5.4.3 に、Y 橋において想定される床版コンクリートの土砂化の過程を示す。Y 橋の土砂化事例は、いずれも、床版の上段鉄筋位置で浮きが認められた（すなわちコンクリートの水平ひび割れが発生していた）P1-P3 間の箱桁間床版上で見られた。Y 橋の場合、輪荷重の走行位置で浮きが生じていたことから、浮いたコンクリートの薄片が輪荷重の走行繰返しによりブロック化し、さらに土砂状に砕かれていった可能性が高いと考えられる。薄片のブロック化の時点で、舗装のひび割れの拡大も想定され、路面の水の浸入をより容易にしたと推察される。また、この状態では、ブロックから土砂状になるのに時間はさほど要さず、また路面水に交じって土粒子も路面から浸入したと推察される。

Y 橋では、コンクリート床版の劣化が急激に増加、伸展したが、床版の抜け落ちに至らなかったのは、1972 年以降の道路橋示方書による設計であるため、床版の疲労耐久性が 1960 年代の床版に比べてある程度改善されていたこと、また、2015 年にコンクリート床版の部分的な補修が開始されて以降、同じ箇所に対して、同様のコンクリートの補修を繰り返すことなく、2019 年の大規模補修を実施したこと、すなわち再補修・再劣化を何度も繰り返さなかったことによると考えられる。

表-5.4.1 Y 橋の橋面舗装と床版で見られた損傷の特徴

径間	A1-P1	P1-P3
上部構造形式	プレートガーダー	2 箱桁
床版支間 (m)	2.5	2.9 (箱桁間), 2.3 (箱桁上)
床版厚 (mm)	190 (設計値)	200 (設計値), 195 (調査時)
舗装厚 (mm)	50 (設計値)	50 (設計値), 80 (調査時)
橋面舗装のひび割れ状態 (2005 年点検時以降)	車道部全幅にわたって多くの舗装のひび割れ。ただし、床版の正曲げ区間に限る トンネル坑口付近は、特に下り側で舗装のひび割れが顕著 ※H 桁橋の P3-A2 間も同様であった	箱桁間の床版上で多くの舗装ひび割れ
橋面舗装の補修 (2014 年以降)	P1 付近の歩道側路肩部の部分補修を除いて、部分補修なし	箱桁間床版上で多くの舗装ひび割れが見られる範囲で、多数の部分打換え、パッチング、ひび割れ補修の跡あり 複数箇所で再補修も見られた。
床版上面の浮き (水平ひび割れ)	浮きあり。ところどころで部分的な浮きが認められた (たたきによるチョークを参照した)。	区間の全長にわたって、舗装のひび割れが見られた範囲の大部分で浮き 床版上面補修跡の大部分で浮き
床版上面の補修	なし	舗装の部分打換え箇所のうち、一部で床版上面の補修あり
床版下面のひび割れ	多数の格子状ひび割れ (2014 年詳細調査時)	多数の格子状ひび割れ (2014 年詳細調査時)
床版下面の漏水箇所 (遊離石灰, 漏水痕)	一部の舗装, 床版の貫通ひび割れ箇所で漏水あり (2014 年詳細調査時)	広範囲の漏水箇所が複数見られた (2014 年詳細調査時)



2013 年 1 月撮影 <https://www.google.co.jp/maps/@33.2628278,131.0109722,3a,75y,26.79h,58.39t/data=!3m6!1e1!3m4!1s4pDJSgOR-OqbhtwJkqajtw!2e...>

注) Google ストリートビューから引用した。

図-5.4.1 A1-P1 間、プレートガーダー区間の路面ひび割れ¹¹⁾



2013 年 1 月撮影 <https://www.google.co.jp/maps/@33.2623176,131.0106708,3a,75y,14.21h,74.74t/data=!3m6!1e1!3m4!1snQNbSx1Og6MU5Ix0GN9LjA...>

注) Google ストリートビューから引用した。

図-5.4.2 P1-P3 間、箱桁区間の路面ひび割れ¹²⁾

表-5.4.2 床版上面コンクリートの浮きの要因と可能性

要 因	主な発生条件	Y 橋の状況	備 考
疲労	・大型車が多い ・舗装下，床版への水の浸入*	大型車の走行あり 水の浸入あり 床版下面の格子状ひび割れ，遊離石灰	
塩害	・舗装下，床版への水の浸入 ・Cl⁻のコンクリートへの浸入	凍結防止剤散布あり 水の浸入あり 鉄筋腐食は軽微	補修時の鉄筋にふしの消失が見られない
ASR	・ASR 反応性骨材の含有 ・舗装下，床版への水の浸入	川砂利使用 水の浸入あり 一部の骨材周囲に白色物質（図-4.1.11）	単独の要因で上段鉄筋位置のみに割れが生じる可能性は低い
粗骨材の凍結融解による割れ ⁸⁾	・凍結融解に弱い骨材の含有 ・舗装下，床版への水の浸入 ・氷点下に至る冷却 ・Cl⁻のコンクリートへの浸入*	川砂利使用 水の浸入あり 凍結あり 凍結防止剤散布あり	目立った粗骨材の割れは見られず
膨張性骨材等の膨張によるコンクリートの割れ	・膨張性骨材等の混入 ・舗装下，床版への水の浸入	一部に膨張性の異物混入 水の浸入あり コンクリートのポップアウト（付録 A2）	単独の要因で上段鉄筋位置のみに割れが生じる可能性は低い
配筋	・負曲げを受ける位置における上段鉄筋の途中定着 ・かぶりコンクリートの補修*	負曲げを受ける可能性のある位置で，上段鉄筋の一部が途中定着されている（図-5.3.8） 床版の変位のほか，箱桁間の相対変位あり（程度は未確認）	コンクリートが健全なときにも影響するか不明

*) 促進する要因または助長する要因

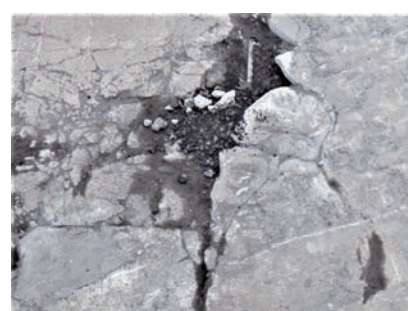
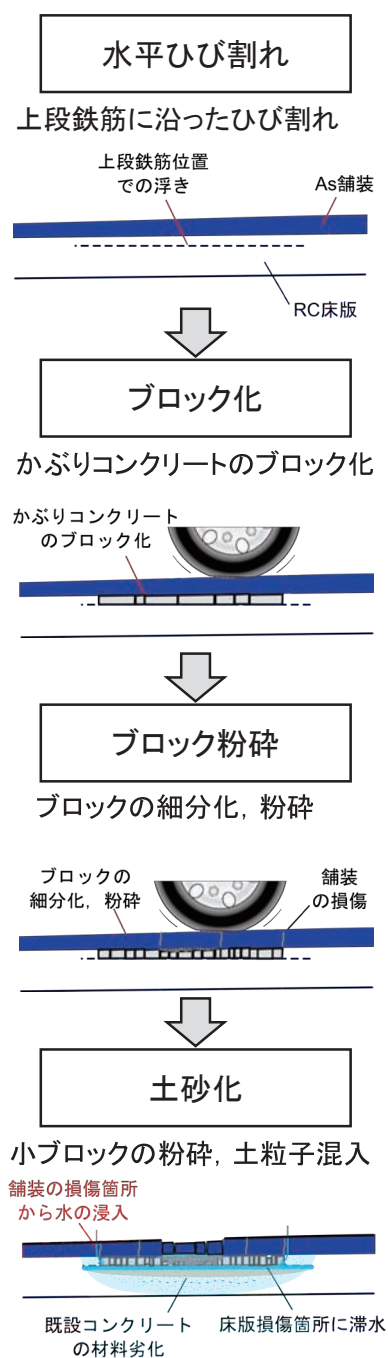


図-5.4.3 Y橋における床版コンクリートの土砂化の過程（想定）

5.5 Y 橋における床版上面の補修と再劣化

Y 橋の P1-P3 間では、床版上面コンクリートの部分補修が複数箇所で見られ、図-4.1.3, 4.1.8, 4.1.10, 4.1.11 に示したように、補修箇所の周囲でコンクリートの劣化が生じている箇所が見られた。これらのうち、図-4.1.8 の損傷が進んでいた事例について、舗装除去後の路面の状態を示した図-4.1.20(b)付近の拡大写真を図-5.5.1(a) に示す。また、同一箇所を撮影した図-4.1.8(c)の違う角度から撮影した写真を図-5.5.1(b)に示す。この箇所では、補修材にもひび割れが生じていた。図-4.1.8(d)に示したように、補修材の下にも土粒子が入っており、補修材を支持するはずの既設コンクリートが補修時よりも劣化していたと考えられる。その発端の理由として、補修材の下の既設コンクリートが外見では分かりにくい程度の劣化が生じていたか、図-5.5.2 に示すように、補修後に補修材と既設コンクリートの打継目に路面水が浸入して、補修材の下の既設コンクリートの劣化を促進したことが挙げられる。前者の場合には、その後、後者の理由による劣化も伴って、加速的に劣化が進行すると考えられる。この箇所（A1 から 94m 付近）では、補修材にも既にひび割れが生じて損傷していたが、他の箇所では補修材の損傷が見られない事例もあった。補修材の損傷は、補修材の下の既設コンクリートが劣化して補修材の支持状態が悪化したことによって生じ得ると考えられる。RC 床版の上面付近のコンクリートを部分的に打ち換える場合、a)劣化した部分を除去すること、b)補修材の打継目から水が浸入しないようにすることが重要である。図-5.5.2 では、打継目からの水の浸入の要因を例示した。Y 橋のみならず、床版上面コンクリートの部分補修がうまくいかない事例が多く見られることから想定されたとおり、現時点では、上記の a), b)ともに、現場において確実に実施することが容易でない状況にあると考えられる。これらのことから、文献¹⁰⁾では、床版上面コンクリートの部分打換えを避けて、全厚打換えを推奨している。床版上面コンクリートの部分打換えについては、上記 a), b)を確実に実施するためのさまざまな視点からの改善が必要である。



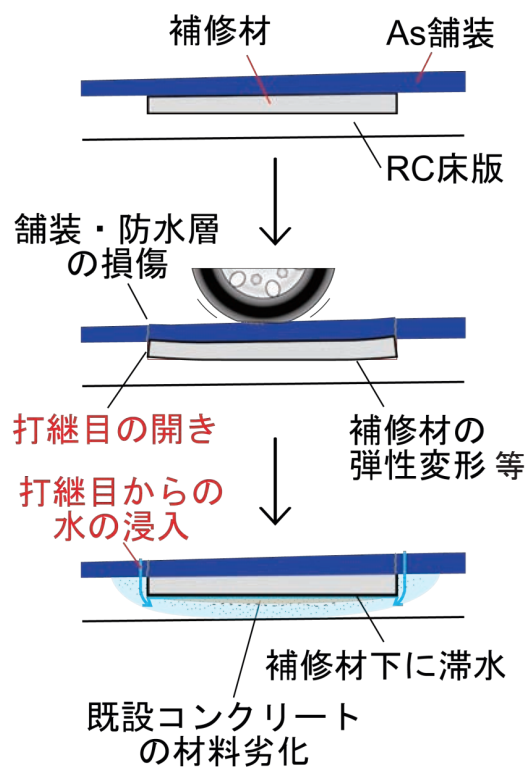
(a) 2019年4月11日10時に撮影



(b) 2019年4月11日14時、清掃後に撮影

図-5.5.1 床版上面コンクリートの補修材と母材の間の滞水例

(P1-P2 間, A1 から 94 m 付近)



打継目の開きの要因例

材料—施工時の補修材の収縮,
防水後の母材の収縮
施工—はつり時の微細ひび割れ,
下地処理の不足
設計—補修材の弾性変形

図-5.5.2 床版上面の部分補修部下面への水の浸入 (概念図)

6. まとめ

Y 橋の RC 床版の補修に際して電磁波レーダによる測定を含む現地調査を行い、既存の点検や詳細調査における資料を含めて、結果を整理した。それに基づき、Y 橋における舗装や床版の劣化過程について検討した。得られた主な結果を次に示す。

(1) 各機器を用いた電磁波レーダによる分析結果（4 章）

- 1) 車載式による電磁波レーダの測定結果では、縦断図の特徴の分析から、土砂化や滞水の疑いがあると判定される箇所が A1-P3 間で広範囲に認められた。また、浅い土砂化、舗装剥離、水平ひび割れが疑われると判定される箇所も複数箇所でも認められた。
- 2) 高周波型のカート式による電磁波レーダの測定結果では、縦断図における舗装と床版の界面付近における特徴に着目して、その連続性や乱れの箇所が実際の損傷範囲と概ね整合することを確認した。
- 3) 中周波型のカート式による電磁波レーダの測定結果では、床版上面付近のタイムスライス断面において、土砂化、床版上面滞水、舗装打換え箇所の振幅が健全箇所と相違していることが認められた。一方、下面漏水箇所との整合性は低かった。
- 4) ハンディ式による電磁波レーダの測定結果では、限られた範囲のデータであったが、縦断画像が高周波型カート式に比べてより精細であり、カート式の結果と併せて用いることで、損傷種別の判定に役立つ可能性がある。

(2) Y 橋床版の劣化過程と原因の推定（5 章）

Y 橋の床版土砂化事例では、いずれも、床版の上段鉄筋位置での浮き、すなわち床版コンクリートの水平ひび割れが先行して発生していたと推察される。この橋の場合、浮きが生じていた範囲に輪荷重の走行位置があったことから、浮いたコンクリートの薄片が輪荷重の走行繰返しによりブロック化し、さらに土砂状に砕かれていった可能性が高いと考えられる。ただし、水平ひび割れが発生した原因は明確にできていない。

謝辞

現地調査及び資料提供にご協力していただいた以下の方々をはじめ，本調査研究にご協力いただいた関係各位に感謝いたします．

国土交通省	九州地方整備局	道路部 道路保全企画官	田口 敬二
		道路部 道路構造保全官	井本 真樹男
		大分河川国道事務所 総括保全対策官	船井 敏勝
		同 道路管理第二課長	佐土原 一也
		同 道路管理第二課 専門官	中村 真一郎
		同 道路管理第二課 専門員	坂本 勝日出
		同 道路管理第二課 専門員	上原 勝久
		同 日田国道維持出張所長	矢羽田 成巧
		同 日田国道維持出張所長	平野 智志
		同 日田国道維持出張所 管理第二係長	東 凌平
			(敬称略)

参考文献

[1 章]

- 1) 国土交通省道路局国道・技術課, 国土技術政策総合研究所, 東北地方整備局, 北陸地方整備局, 中部地方整備局, 九州地方整備局, 北海道開発局, 国立研究開発法人土木研究所: 道路橋コンクリート床版の土砂化対策に関する調査研究, 土木研究所資料, 第 4398 号, 2020.3
- 2) 田中良樹, 寺田剛, 渡邊真一, 上仙靖, 藪雅行: 道路橋コンクリート床版の土砂化対策～床版防水に配慮した橋面舗装の打換え技術の提案～, 土木技術資料, 62-6, pp. 40-45, 2020.6.
- 3) 上仙靖, 田中良樹, 山本健太郎: 一般道における道路橋コンクリート床版の土砂化と補修の改善, 橋梁と基礎, 54-8, pp. 31-34, 2020.8.
- 4) 松本直士, 大島義信, 野田翼, 尾西恭亮, 石田雅博: 電磁波レーダ法を用いた RC 床版の定量的状態判別手法, 構造工学論文集 A, No. 66A, pp. 791-799, 2020.
- 5) 石田雅博, 野田翼, 小林巧, 松本直士, 夏堀格: 電磁波レーダによる RC 床版土砂化に対する予防保全の取組み, 橋梁と基礎, 54-8, pp. 107-110, 2020.8.

[2 章]

- 1) グーグルストリートビュー, 2013 年 1 月撮影 <https://www.google.co.jp/maps/@33.2619678,131.0105713,21z>
(2020 年 4 月 24 日閲覧)
- 2) グーグルストリートビュー, 2018 年 5 月撮影 <https://www.google.co.jp/maps/@33.2619629,131.0105634,21z>
(2020 年 4 月 24 日閲覧)
- 3) グーグルストリートビュー, 2013 年 1 月撮影 <https://www.google.co.jp/maps/@33.2621455,131.0106087,21z>
(2020 年 4 月 24 日閲覧)
- 4) グーグルストリートビュー, 2013 年 1 月撮影 <https://www.google.co.jp/maps/@33.2621018,131.0105933,21z>
(2020 年 4 月 24 日閲覧)

[3 章]

- 1) 田中良樹, 村越潤: 橋面アスファルト舗装の変状と RC 床版の疲労, 土木技術資料, 53-2, pp. 22～27, 2011.
- 2) 田中良樹, 村越潤, 吉田英二: 撤去された鉄筋コンクリート床版の水張り試験, 第 8 回道路橋床版シンポジウム論文報告集, 土木学会, pp. 145～148, 2014.10.

[4 章]

- 1) 田中良樹, 村越潤: 橋面アスファルト舗装の変状と RC 床版の疲労, 土木技術資料, 53-2, pp. 22-27, 2011. (再掲)
- 2) 小林大, 田代大樹, 永塚竜也, 橋本竜也: 電磁波レーダによる RC 床版上面の状態評価に関する実験的検討, 土木学会第 71 回年次学術講演会, CS11-002, 2016.9.

- 3) 永塚竜也, 小林大, 唐木正史: RC 床版上面の状態グルーピングアルゴリズムの適用事例, 土木学会第 71 回年次学術講演会, CS11-001, 2016.9.
- 4) 小早川正樹, 唐木正史: 鉄筋探査用 R C レーダを用いた点検困難箇所のコンクリート非破壊診断技術, 土木学会 第 71 回年次学術講演会, V-556, pp. 1111-1112, 2016.9.

[5 章]

- 1) グーグルストリートビュー, 2013 年 1 月撮影 <https://www.google.co.jp/maps/@33.2621455,131.0106087,3a,36.2y,18.9h,71.82t/data=!3m6!1e1!3m4!1shB7Gsk-UwzGPljXupTCPnA!2e0!7i13312!8i6656> (2021 年 5 月 6 日閲覧)
- 2) グーグルストリートビュー, 2018 年 5 月撮影 <https://www.google.co.jp/maps/@33.2621761,131.0106137,3a,75y,15.34h,54.62t/data=!3m7!1e1!3m5!1s5kVNIiF50jOGkRjq54I3lw!2e0!5s20180501T000000!7i13312!8i6656> (2021 年 5 月 7 日閲覧)
- 3) グーグルストリートビュー, 2013 年 1 月撮影 https://www.google.co.jp/maps/@33.262407,131.010719,3a,15y,197.37h,79.49t/data=!3m7!1e1!3m5!1slys_rO8pBD4cGxsD9d69gQ!2e0!5s20130101T000000!7i13312!8i6656 (2021 年 5 月 12 日閲覧)
- 4) グーグルストリートビュー, 2018 年 5 月撮影 <https://www.google.co.jp/maps/@33.2624083,131.0107126,3a,15y,193.74h,78.37t/data=!3m7!1e1!3m5!1sfAH9Bihj-1hH2KLYK5Xq5w!2e0!5s20180501T000000!7i13312!8i6656> (2021 年 5 月 12 日閲覧)
- 5) グーグルストリートビュー, 2013 年 1 月撮影 https://www.google.co.jp/maps/@33.2618743,131.0105714,3a,72.2y,176.76h,62.06t/data=!3m6!1e1!3m4!1sWe9G7ge7Zws_2F8G6EvTWQ!2e0!7i13312!8i6656 (2021 年 5 月 7 日閲覧)
- 6) グーグルストリートビュー, 2018 年 5 月撮影 <https://www.google.co.jp/maps/@33.2618886,131.0105678,3a,48.7y,169.36h,77.26t/data=!3m6!1e1!3m4!1staJmlQpJA9aiuBaPd100JQ!2e0!7i13312!8i6656> (2021 年 5 月 6 日閲覧)
- 7) 田中良樹, 村越潤, 長屋優子, 吉田英二: 鉄筋コンクリート床版の疲労耐久性に関する最近の研究, 土木技術資料, 56-3, pp. 30-35, 2014.3.
- 8) 田中良樹, 石田雅博, 村越潤: 道路橋における凍結融解と ASR の影響を受けたコンクリートの劣化調査, 土木学会論文集 E2, 72-3, pp. 214-233, 2016.7.
- 9) 田中良樹: コンクリート床版の土砂化, 土木技術資料, 63-10, p. 52, 2021.10.
- 10) 田中良樹, 寺田剛, 渡邊真一, 上仙靖, 藪雅行: 道路橋コンクリート床版の土砂化対策～床版防水に配慮した橋面舗装の打換え技術の提案～, 土木技術資料, 62-6, pp. 40-45, 2020.6. (再掲)
- 11) グーグルストリートビュー, 2013 年 1 月撮影 <https://www.google.co.jp/maps/@33.2628278,131.0109722,3a,75y,26.79h,58.39t/data=!3m6!1e1!3m4!1s4pDJSgOR-OqbhtwJkqajtw!2e...> (2020 年 4 月 24 日閲覧)
- 12) グーグルストリートビュー, 2013 年 1 月撮影 <https://www.google.co.jp/maps/@33.2623176,131.0106708,3a,75y,14.21h,74.74t/data=!3m6!1e1!3m4!1snQNbSx1Og6MU5Ix0GN9LjA...> (2020 年 4 月 24 日閲覧)

本調査の担当一覧

国立研究開発法人土木研究所

技術推進本部 実装技術チーム	上席研究員	齋藤 清志
地質・地盤研究グループ 地質チーム	上席研究員	品川 俊介
地質チーム	主任研究員	尾西 恭亮 ^{*1}
(物理探査担当)	交流研究員	小林 貴幸 ^{*2}
地質チーム	交流研究員	大石 佑輔 ^{*3}
構造物メンテナンス研究センター	上席研究員	石田 雅博
	上席研究員	上仙 靖
	総括主任研究員	田中 良樹
	主任研究員	藤木 裕二
	研究員	野田 翼 ^{*4}
	研究員	岩谷 祐太
	研究員	小林 巧
	交流研究員	松本 直士 ^{*5}
	交流研究員	夏堀 格
	交流研究員	山本健太郎 ^{*6}

ニチレキ株式会社

道路エンジニアリング部	那珂 通大
	佐藤 和久

株式会社復建技術コンサルタント

東京支社 構造技術部	唐木 正史
	石川 雄貴
	塚本 美咲

過年度の担当者を含む、役職は当時

*1 2021年3月まで物理探査担当

*2 2021年3月まで

*3 2021年4月から

*4 2020年5月まで

*5 2020年3月まで

*6 2019年4月まで

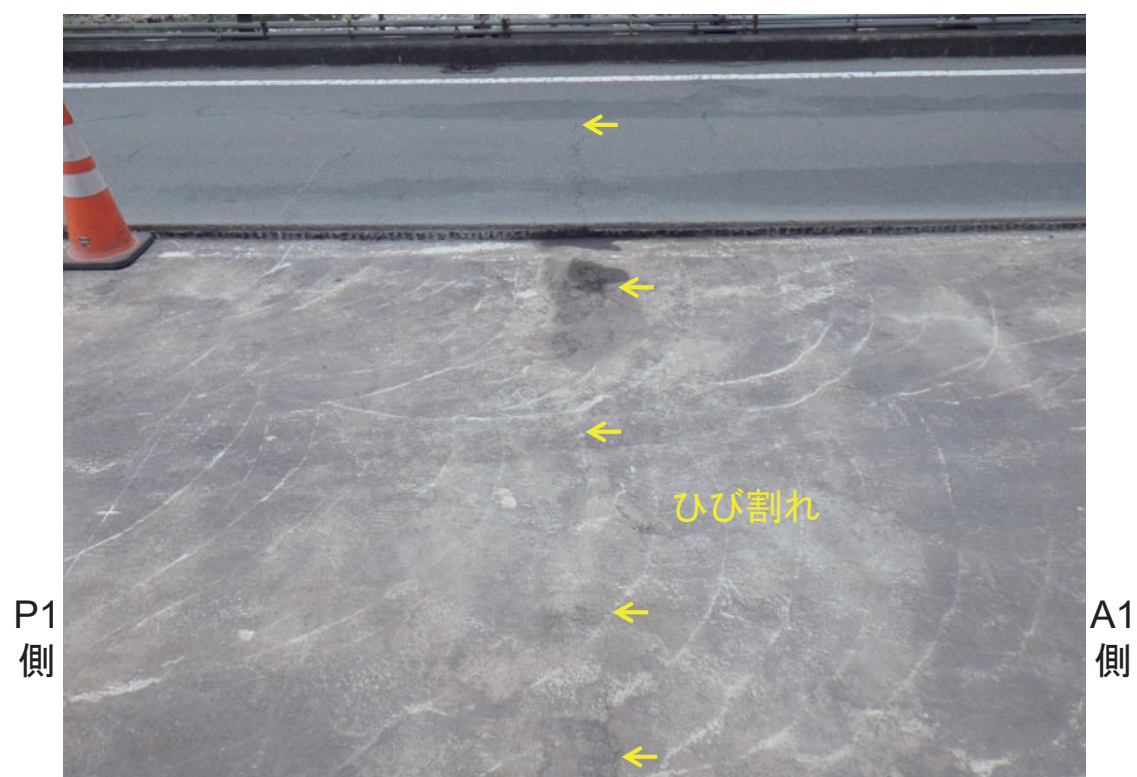
付録 A1 A1-P1 間の貫通ひび割れ

図-A1.1 に、A1 から 8m の断面で、舗装路面及び床版上面に見られた橋軸直角方向のひび割れを示す。センターライン付近では、湿気がなお残っている箇所が見られ、舗装下に長期に滞水していた可能性があると考えられる。また、図-A1.2 に同じ位置における床版下面のひび割れと水分計による含水状態を示す。下面には、格子状のひび割れが見られ、上面にひび割れが見られた付近直下の下面では、水分がやや多くなっている箇所が認められた。路面の滞水があると考えられる箇所の直下は水分がより多い傾向が見られた。

図-A1.3 に、2014 年詳細調査時における A1-P1 間の床版下面のひび割れ図を示す。この時点で、A1-P1 間では、A1 から 8m の付近に限って、遊離石灰が橋軸直角方向に連続して見られていた。照明用の電線管がその位置に埋設されていたことから、これによって初期の乾燥収縮によるコンクリートのひび割れが床版のこの位置に誘発された可能性があると考えられる。図-A1.4 に示すとおり、補修のためのコンクリート除去時に、この箇所に、床版の主鉄筋より太めの金属製の管が床版の上面のかぶり内に配置されていたことが分かった。設計図面で確認したところ、その位置に確かに配線することとなっており、その直近の照明柱に向かって直径 39mm の電線管が歩道、車道を横切って配置される計画となっていた。ただし、図面には埋設のイメージ図が描かれているが、埋設の深さは明示されていない。建設時の工程上、床版の配筋の後に電線管が設置されたために、かぶり内に電線管が配置されたものと考えられる。

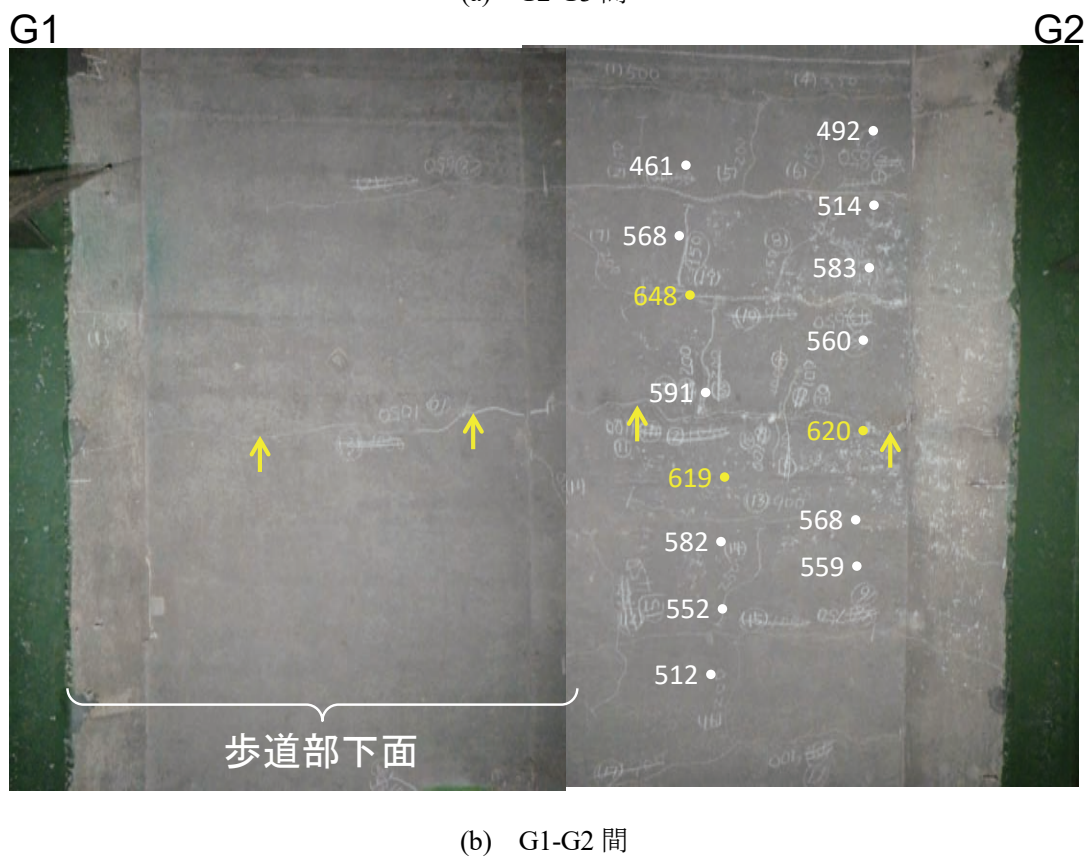
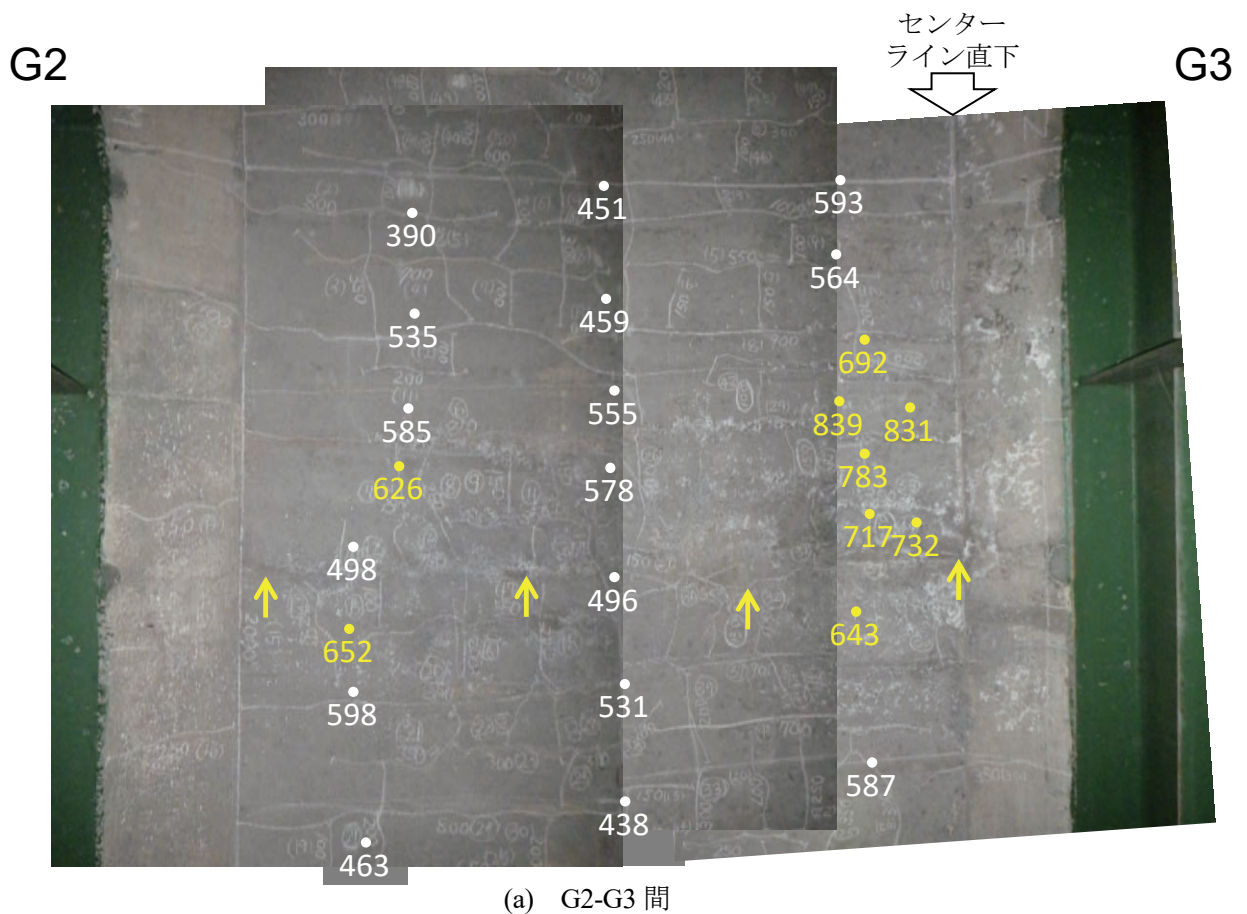


(a) 補修前



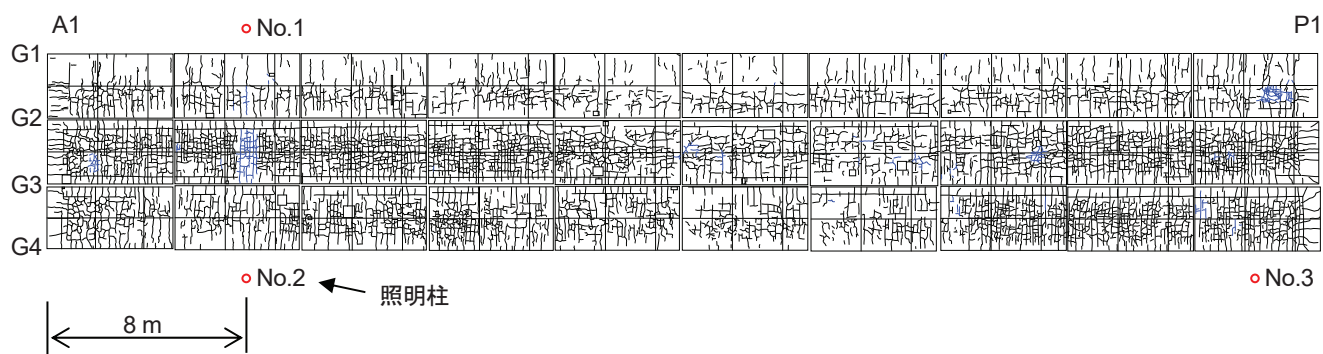
(b) 補修時

図-A1.1 A1-P1間の舗装及び床版の貫通ひび割れ状況



注) 黄色矢印は貫通ひび割れ箇所，図中の数値は水分計の D 値を示す。

図-A1.2 A1-P1 間の貫通ひび割れ付近における床版下面の外観と含水状態（見上げた状態）



注 1) ひび割れ図のうち、青線は遊離石灰が見られた箇所を示す。

注 2) 設計図における照明柱の配線は、No.1－No.2－No.3－・・・(第 2 径間に続く) の順であった。

注 3) 照明柱 No.1 は、少なくとも 2013 年時点では見られなかった。

図-A1.3 A1-P1 間のひび割れ図と照明柱との位置関係



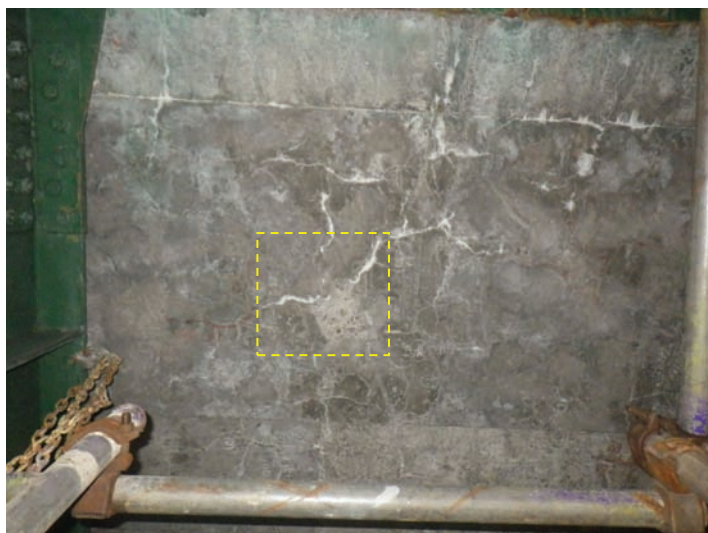
図-A1.4 A1-P1 間の RC 床版の貫通ひび割れ箇所に埋設されていた照明用電線管

付録 A2 床版コンクリートのポップアウト

図-A2.1 に、2019 年 6 月の調査時に見られた床版下面のポップアウトの事例を示す。作業足場にコンクリートの破片が落ちていたことから（たたきによるものか、自然落下かは不明）、その上方の床版下面を確認したところ、ポップアウトの跡があることが分かった。また、ポップアウトした範囲の中心付近に、セメント系と思われる異物が見られた。この物質が核となり、何らかの理由により膨張して、コンクリートを押し出したと考えられる。同じ床版パネル内で複数箇所見られ、同図(c)では複数の異物が見られた。

この異物の一部を採取して（図-A2.1(c)及び図-A2.2）、X 線回折により成分分析を行った。表-A2.1 及び図-A2.3 に分析結果を示す。主としてセメント生成物の類と考えられるが、何らかのスラグの成分も含まれていた。コンクリート作製時に、いわゆる「戻りコン」の類が混入した可能性がある。どの成分が膨張に寄与したかは特定できていない。

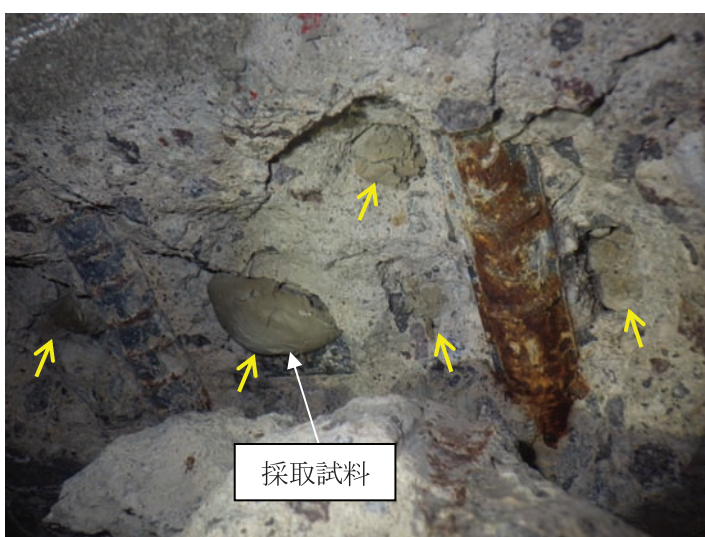
床版コンクリートの材齢が 45 年であることから、異物が突然、急に膨張することは考えにくい。床版上面からの水の供給により、床版コンクリート中の飽水度が高くなり、それによって異物が膨張して、ポップアウトを引き起こしたと推察される。



(a) 床版下面のポップアウトの例（右は黄色破線枠の範囲を拡大）



(b) 写真(a)のポップアウトの核となった異物



(c) 他の部位での複数の異物によるポップアウト

図-A2.1 P1-P2 間の床版下面に見られたポップアウト

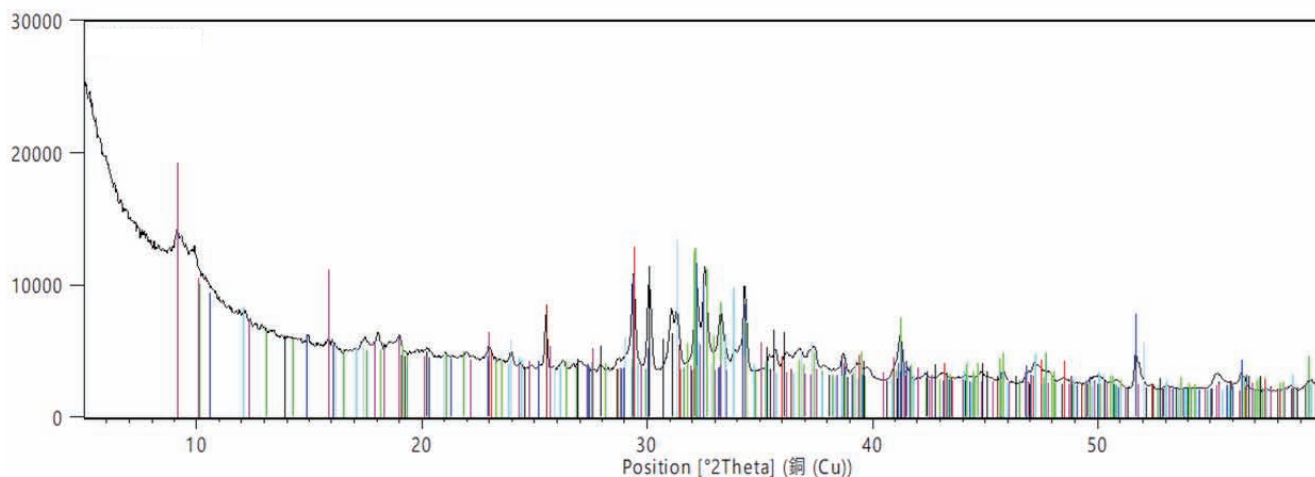
表-A2.1 採取資料の X 線回折で同定された物質

物質名	想定される由来
エーライト	セメント鉱物
ビーライト	
アルミネート相	
フェライト相	
ゲーレンナイト	スラグ
透輝石	
エトリンガイト	セメント水和物あるいはスラグ由来の生成物
カルサイト	セメント水和物の炭酸化物
無水石膏	不明



図-A2.2 採取試料
(分割して右側を分析に使用)

カウント数



ピークリスト
Hatruite, syn; $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_5$
Larnite, syn; Ca_2SiO_4
$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$
Brownmillerite, syn; $\text{Ca}_2(\text{Fe}_2\text{O}_5)$
Gehlenite, syn; $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$
Diopside, aluminian, syn; $(\text{Ca}_{0.905}\text{Mg}_{0.02})(\text{Mg}_{0.759}\text{Al}_{0.241})(\text{Si}_{1.838}\text{Al}_{0.162})\text{O}_6$
Ettringite, syn; $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$
Calcite, syn; $\text{Ca}(\text{CO}_3)$
Anhydrite; $\text{Ca}(\text{SO}_4)$

図-A2.3 採取試料の X 線回折の結果

共同研究報告書
Cooperative Research Report of PWRI
No. 552 March 2022

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 電話029-879-6754